

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re application of :
Hideaki OKAYAMA :
Serial No. NEW : **Attn: Application Branch**
Filed November 15, 2001 : **Attorney Docket No. 2001-1670A**
OPTICAL SWITCH

CLAIM OF PRIORITY UNDER 35 USC 119

Assistant Commissioner for Patents,
Washington, DC 20231

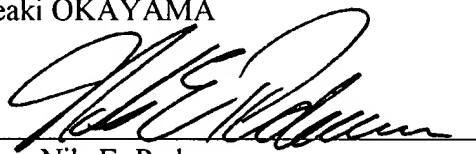
Sir:

Applicant in the above-entitled application hereby claims the date of priority under the International Convention of Japanese Patent Application No. 348577/2000, filed November 15, 2000, and Japanese Patent Application No. 142370/2001, filed May 11, 2001, as acknowledged in the Declaration of this application.

Certified copies of said Japanese Patent Applications are submitted herewith.

Respectfully submitted,

Hideaki OKAYAMA

By 

Nils E. Pedersen
Registration No. 33,145
Attorney for Applicant

NEP/krl
Washington, D.C. 20006-1021
Telephone (202) 721-8200
Facsimile (202) 721-8250
November 15, 2001

THE COMMISSIONER IS AUTHORIZED
TO CHARGE ANY DEFICIENCY IN THE
FEES FOR THIS PAPER TO DEPOSIT
ACCOUNT NO. 23-0975

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

JC978 U.S. PRO
09/987719
11/15/01

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2000年11月15日

出 願 番 号

Application Number:

特願2000-348577

出 願 人

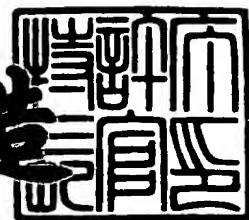
Applicant(s):

沖電気工業株式会社

2001年 8月31日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特2001-3077616

【書類名】 特許願

【整理番号】 OH003571

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G02B 7/02

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都港区虎ノ門1丁目7番12号 沖電気工業株式会
社内

 【氏名】 岡山 秀彰

【特許出願人】

 【識別番号】 000000295

 【氏名又は名称】 沖電気工業株式会社

【代理人】

 【識別番号】 100085419

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 大垣 孝

【手数料の表示】

 【予納台帳番号】 012715

 【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

 【物件名】 明細書 1

 【物件名】 図面 1

 【物件名】 要約書 1

 【包括委任状番号】 9001068

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光スイッチ

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 複数の光入力ポートを有する入力側スイッチ要素と、複数の光出力ポートを有する出力側スイッチ要素とを備え、前記光入力ポートのいずれかに入力された光信号を、前記光出力ポートのいずれかから出力させる光スイッチにおいて、

前記入力側スイッチ要素は、前記光入力ポートの各々に、光信号の入射方向に沿って配置された複数の光偏向素子からなる入力側光偏向素子群を備え、

前記出力側スイッチ要素は、前記光出力ポートの各々に、光信号の出射方向に沿って配置された複数の光偏向素子からなる出力側光偏向素子群を備えることを特徴とする光スイッチ。

【請求項 2】 請求項 1 に記載の光スイッチにおいて、

前記入力側および出力側光偏向素子群は、前記光信号の入射方向または出射方向に垂直な面内で移動可能な、焦点距離の異なる少なくとも 2 枚の可動レンズを前記光偏向素子として備えることを特徴とする光スイッチ。

【請求項 3】 請求項 1 に記載の光スイッチにおいて、

前記入力側および出力側光偏向素子群は、前記光信号の入射方向または出射方向に垂直な面内で移動可能な可動レンズと、前記光信号の入射方向または出射方向に垂直な回転軸を有する可動ミラーとを前記光偏向素子として備えることを特徴とする光スイッチ。

【請求項 4】 複数の光入力ポートと複数の光出力ポートとを有しており、前記光入力ポートのいずれかに入力された光信号を、前記光出力ポートのいずれかから出力させる光スイッチにおいて、

前記光入力ポートの各々に入力側光偏向素子を備え、

前記光出力ポートの各々に出力側光偏向素子を備え、

前記光入力ポートに接続された入力側光ファイバと、前記光出力ポートに接続された出力側光ファイバとを備えていて、

前記光入力ポートおよび光出力ポートに、それぞれ前記入力側光ファイバおよび出力側光ファイバの光入出力角を拡大するための光学系を備えることを特徴とする光スイッチ。

【請求項 5】 請求項 4 に記載の光スイッチにおいて、

前記光学系を、前記入力側光ファイバおよび出力側光ファイバの各々の端面に形成された凹面形状の端面とすることを特徴とする光スイッチ。

【請求項 6】 請求項 5 に記載の光スイッチにおいて、

前記光学系を、前記入力側光ファイバおよび出力側光ファイバの各々の端面に形成された凸面形状の端面とすることを特徴とする光スイッチ。

【請求項 7】 複数の光入力ポートと複数の光出力ポートとを有しており、前記光入力ポートのいずれかに入力された光信号を、前記光出力ポートのいずれかから出力させる光スイッチにおいて、

前記光入力ポートの各々に入力側光偏向素子を備え、

前記光出力ポートの各々に出力側光偏向素子を備え、

前記光入力ポートに接続された入力側光ファイバと、前記光出力ポートに接続された出力側光ファイバとを備えていて、

前記光入力ポートおよび光出力ポートに、光のビーム径を拡大するための光学系を備えることを特徴とする光スイッチ。

【請求項 8】 請求項 7 に記載の光スイッチにおいて、

前記光学系が、前記入力側光ファイバおよび出力側光ファイバの各々の端部に結合されたカップラと、該カップラの端面に対向して設けられ、該カップラの端面に平行な面内に配置された複数のレンズとで構成されることを特徴とする光スイッチ。

【請求項 9】 複数の光入力ポートと複数の光出力ポートとを有しており、前記光入力ポートのいずれかに入力された光信号を、前記光出力ポートのいずれかから出力させる光スイッチにおいて、

前記光入力ポートの各々に、光信号の入射方向に垂直な回転軸を有する可動ミラーを入力側光偏向素子として備え、

前記光出力ポートの各々に、光信号の出射方向に垂直な回転軸を有する可動ミラーを出力側光偏向素子として備え、

前記入力側光偏向素子および出力側光偏向素子間に、入力側の前記可動ミラーで反射された光を出力側の前記可動ミラーに集光するための光学素子が設けられる

ことを特徴とする光スイッチ。

【請求項 1 0】 請求項 9 に記載の光スイッチにおいて、

前記光学素子が、前記入力側光偏向素子および出力側光偏向素子間における光経路に対応して個別に設けられる

ことを特徴とする光スイッチ。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

この発明は、複数個の入力ポートのうちのいずれかに入力された光信号を、複数個の出力ポートのうちのいずれかに出力させる光スイッチに関する。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

文献 1 「Proceedins of 3rd International Conference on Micro Opt Electr o Mechanical Systems(MOEMS 99),Paper 26,29th/8/'99」、文献 2 「米国特許第 5 9 2 3 4 8 0 号,13th/7/1999」、文献 3 「特開 2 0 0 0 - 1 0 0 2 9」および文献 4 「Optical Fiber Communication (OFC) 2000 論文集 講演 P D 2 0, 2 0 0 0 年 3 月」に、従来の光スイッチが開示されている。この種の光スイッチは、可動ミラーあるいは可動レンズを用いて空間を伝搬する光ビームの方向を制御することで、所定の出力ポートへ光信号を導く。この光スイッチによれば、3 次元空間配線を用いているため、ポート数の拡大が容易である。

【0 0 0 3】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、従来の構成では、空間を伝搬する光ビームの偏向角度の設定を、かなり高い精度で行う必要がある。また、以下に説明するように、その精度の実現は非常に困難である。

【0004】

通常の光通信システムで用いられる光ファイバの直径は8ミクロン程度である。光ファイバに対して、1ミクロン程度の位置ずれ精度で光を入力しなければ、ロスが1dB以上生じて、実用上問題となる。出力ポートの間隔は実装上数百ミクロン以上必要とされるので、2チャンネルの装置であっても、偏向角には0.1%程度の精度が必要である。さらにこれが、数十チャンネル以上の装置となると 10^{-4} 位の精度が要求される。

【0005】

また、可動ミラーを用いた100チャンネルの装置では、偏向角に1%程度の精度が必要とされる。さらにこれが、千チャンネル以上の装置となると0.3%の精度が要求される。

【0006】

従来、この問題を解決する方法として、光ビームに位置検出用の信号をのせて偏向角を検出し、検出された角度を偏向角コントロール系にフィードバックする方法が知られている。しかし、この方法には、電気的処理速度の関係で高速なスイッチングが行えないという欠点がある。偏向用ミラーに角度検出機構を組み込み、フィードバックにより制御する方法も知られているが、高い精度が得られないという欠点がある。

【0007】

【課題を解決するための手段】

この発明の光スイッチによれば、複数個の光入力ポートを有する入力側スイッチ要素と、複数個の光出力ポートを有する出力側スイッチ要素とを備える。この光スイッチは、光入力ポートのいずれかに入力された光信号を、光出力ポートのいずれかから出力させるものである。上述の入力側スイッチ要素は、光入力ポートの各々に、光信号の入射方向に沿って配置された複数個の光偏向素子からなる入力側光偏向素子群を備える。また、上述の出力側スイッチ要素は、光出力ポ-

トの各々に、光信号の出射方向に沿って配置された複数個の光偏向素子からなる出力側光偏向素子群を備える。

【0008】

この構成によれば、光ビームの偏向を行うために複数個の光偏向素子を用いているので、偏向角度の精度は各光偏向素子に振り分けられる。したがって、各光偏向素子の必要精度が緩和される。

【0009】

また、この発明の他の光スイッチによれば、複数個の光入力ポートと複数個の光出力ポートとを有しており、光入力ポートのいずれかに入力された光信号を、光出力ポートのいずれかから出力させる光スイッチにおいて、光入力ポートの各々に入力側光偏向素子を備え、光出力ポートの各々に出力側光偏向素子を備え、光入力ポートに接続された入力側光ファイバと、光出力ポートに接続された出力側光ファイバとを備えていて、光入力ポートおよび光出力ポートに、それぞれ入力側光ファイバおよび出力側光ファイバの光入出力角を拡大するための光学系を備えることを特徴とする。

【0010】

この構成によれば、必要な精度を確保しつつもチャンネル数の増大が図れる。

【0011】

また、この発明のさらに他の光スイッチによれば、複数個の光入力ポートと複数個の光出力ポートとを有しており、光入力ポートのいずれかに入力された光信号を、光出力ポートのいずれかから出力させる光スイッチにおいて、光入力ポートの各々に入力側光偏向素子を備え、光出力ポートの各々に出力側光偏向素子を備え、光入力ポートに接続された入力側光ファイバと、光出力ポートに接続された出力側光ファイバとを備えていて、光入力ポートおよび光出力ポートに、光のビーム径を拡大するための光学系を備えることを特徴とする。

【0012】

この構成によれば、必要な精度を確保しつつもチャンネル数の増大が図れる。

【0013】

また、この発明のさらに他の光スイッチによれば、複数個の光入力ポートと複

数個の光出力ポートとを有しており、光入力ポートのいずれかに入力された光信号を、光出力ポートのいずれかから出力させる光スイッチにおいて、光入力ポートの各々に、光信号の入射方向に垂直な回転軸を有する可動ミラーを入力側光偏向素子として備え、光出力ポートの各々に、光信号の出射方向に垂直な回転軸を有する可動ミラーを出力側光偏向素子として備え、入力側光偏向素子および出力側光偏向素子間に、入力側の可動ミラーで反射された光を出力側の可動ミラーに集光するための光学素子が設けられることを特徴とする。

【 0 0 1 4 】

この構成によれば、可動ミラーの角度制御精度が緩和されるので、ミラー角の切り替えを高速で行うことが可能になる。

【 0 0 1 5 】

【発明の実施の形態】

以下、図を参照して、この発明の実施の形態につき説明する。なお、図は、この発明を理解できる程度に、形状、大きさおよび配置関係を概略的に示すものに他ならない。よって、この発明は、図示例に何ら限定されるものではない。

【 0 0 1 6 】

〔第 1 の実施の形態〕

図 1 は、第 1 の実施の形態の光スイッチの構成を示す斜視図である。この光スイッチ 2 6 は、複数個の光入力ポート 1 0 を有する入力側スイッチ要素 1 2 と、複数個の光出力ポート 1 4 を有する出力側スイッチ要素 1 6 とを備える。図 1 に矢印で光線の様子を示してある。この光スイッチによれば、光入力ポート 1 0 のいずれかに入力された光信号が光出力ポート 1 4 のいずれかから出力される。

【 0 0 1 7 】

上述の入力側スイッチ要素 1 2 は、光入力ポート 1 0 の各々に、2 個の光偏向素子 1 8 a および 1 8 b からなる入力側光偏向素子群 2 0 を備える。これら光偏向素子 1 8 a および 1 8 b は、光入力ポート 1 0 に入射される光信号の入射方向に沿って配置されている。

【 0 0 1 8 】

また、上述の出力側スイッチ要素 1 6 は、光出力ポート 1 4 の各々に、2 個の

光偏向素子 2 2 a および 2 2 b からなる出力側光偏向素子群 2 4 を備える。これら光偏向素子 2 2 a および 2 2 b は、光出力ポート 1 4 から出射される光信号の出射方向に沿って配置されている。

【 0 0 1 9 】

入力側スイッチ要素 1 2 と出力側スイッチ要素 1 4 とは、構造的に同じものである。

【 0 0 2 0 】

この例では、入力側スイッチ要素 1 2 への光入力手段として、光ファイバ 2 8 が用いられる。この光ファイバ 2 8 の出力端面が、上述の光入力ポート 1 0 に接続される。また、出力側スイッチ要素 1 6 からの光出力手段として、光ファイバ 3 0 が用いられる。この光ファイバ 3 0 の入力端面が、上述の光出力ポート 1 4 に接続される。

【 0 0 2 1 】

このように、この実施の形態の光スイッチによれば、入力側光ファイバ群と出力側光ファイバ群との間に 3 次元光配線が構成される。そして、この 3 次元光配線を実現するための上述した光偏向素子群は、2 個の光偏向素子からなる二段構成になっている。このように、従来構成では光偏向素子群が一段構成であったのに対して、この実施の形態の構成では二段構成になっている。

【 0 0 2 2 】

なお、この実施の形態では、入力側光偏向素子群 2 0 を構成する一方の光偏向素子 1 8 a は基板 3 2 上に設置される。各ポートの光偏向素子 1 8 a が基板 3 2 上に配置されて、第 1 偏向素子アレイ 3 4 が構成される。同様に、入力側光偏向素子群 2 0 を構成する他方の光偏向素子 1 8 b も別の基板 3 6 上に設置される。各ポートの光偏向素子 1 8 b が基板 3 6 上に配置されて、第 2 偏向素子アレイ 3 8 が構成される。これら第 1 および第 2 偏向素子アレイ 3 4 および 3 8 が、入力側スイッチ要素 1 2 を構成している。

【 0 0 2 3 】

また、出力側光偏向素子群 2 4 を構成する一方の光偏向素子 2 2 a は基板 4 0 上に設置される。各ポートの光偏向素子 2 2 a が基板 4 0 上に配置されて、第 3

偏向素子アレイ 4 2 が構成される。同様に、出力側光偏向素子群 2 4 を構成する他方の光偏向素子 2 2 b も別の基板 4 4 上に設置される。各ポートの光偏向素子 2 2 b が基板 4 4 上に配置されて、第 4 偏向素子アレイ 4 6 が構成される。これら第 3 および第 4 偏向素子アレイ 4 2 および 4 6 が、出力側スイッチ要素 1 6 を構成している。

【 0 0 2 4 】

なお、各光偏向素子は分離して、単独に設けられていても良く、あるいは複数の基板に分割して設けられていても良い。

【 0 0 2 5 】

この実施の形態では、第 1、第 2、第 3 および第 4 偏向素子アレイ 3 4、3 8、4 2 および 4 6 がこの順序で、各基板 3 2、3 6、4 0 および 4 4 が平行となるように配列されている。

【 0 0 2 6 】

また、光ファイバ 2 8 および 3 0 は、それぞれ不図示の保持部材例えば基板によって整列した状態で保持される。このような基板には、精密な位置精度で光ファイバを位置決めするためのガイドが、種々の好適な方法によって形成されている。

【 0 0 2 7 】

この実施の形態では、上述の光偏向素子 1 8 a、1 8 b、2 2 a および 2 2 b として可動レンズが用いられている。この可動レンズは、光信号の入射方向または出射方向に垂直な面内で移動可能なレンズである。また、各光偏向素子群 2 0 および 2 4 を構成する 2 枚の可動レンズは焦点距離が異なっている。

【 0 0 2 8 】

図 2 は、可動レンズの構成例を示す平面図である。レンズ 4 8 は、微動台 5 0 上の 4 つのアクチュエータ 5 2、5 4、5 6 および 5 8 によって支持されている。レンズ 4 8 は、アクチュエータ 5 2 および 5 4 を駆動させることで、微動台 5 0 の面内の一方向、図 2 の例では図中の上下方向に移動する。また、レンズ 4 8 は、アクチュエータ 5 6 および 5 8 を駆動させることで図 2 中の左右方向に移動する。微動台 5 0 の面には光透過孔 5 0 a が開けられており、レンズ 4 8 はこの

孔 5 0 a に対して相対的に移動する。また、微動台 5 0 はスライダ 6 0 によって支持されており、大きなぶれが生じないように図 2 中の左右方向に移動可能である。この構成はあくまでも一例であって、他の種々の構成を適用することができる。

【 0 0 2 9 】

図 3 は、図 1 に示した光スイッチの一部の断面を示す図である。図 3 に示すように、光偏向素子 1 8 a、1 8 b、2 2 a および 2 2 b として可動レンズが用いられている。可動レンズ 1 8 a は、基板 3 2 上にアクチュエータ 6 2 を介して保持されている。可動レンズ 1 8 b は、基板 3 6 上にアクチュエータ 6 4 を介して保持されている。可動レンズ 2 2 a は、基板 4 0 上にアクチュエータ 6 6 を介して保持されている。可動レンズ 2 2 b は、基板 4 4 上にアクチュエータ 6 8 を介して保持されている。各可動レンズは、各アクチュエータにより、各基板面に沿って移動可能である。

【 0 0 3 0 】

基板 3 2、3 6、4 0 および 4 4 それぞれには、光を通すための開口 3 2 a、3 6 a、4 0 a および 4 4 a が形成されている。基板 3 6 および 4 0 の側では光の偏向角が大きくなるため、基板 3 6 および 4 0 が厚い場合には図示のように面取りをして、光束がかからないようにする必要がある。なお、基板 3 2、3 6、4 0 および 4 4 が、使用する光の波長に対して透明な材料である場合には必ずしも上述した開口は必要ではない。また、基板 3 2 と基板 3 6 とは、レンズ 1 8 a および 1 8 b 間の間隔をとるために、スペーサを介して貼り付けられる。同様に、基板 4 0 と基板 4 4 とは、レンズ 2 2 a および 2 2 b 間の間隔をとるために、スペーサを介して貼り付けられる。

【 0 0 3 1 】

図 3 に示すように、入力側光ファイバ 2 8 からの出射光は、入力側スイッチ要素のレンズ対 1 8 a および 1 8 b で平行光にされた後、出力側スイッチ要素のレンズ対 2 2 a および 2 2 b によって出力側光ファイバ 3 0 に集光される。

【 0 0 3 2 】

また、図 4 に示すように構成しても良い。図 4 は、入力側スイッチ要素の断面

を示す図である。基板 7 0 には、光ファイバ 7 8 からの出射光を通すための開口 7 0 a が形成されている。この開口 7 0 a の位置に光偏向素子群が設けられている。この例では、光偏向素子群を構成する 1 対の光偏向素子が一枚の基板 7 0 に設けられる。すなわち、1 段目の光偏向素子である可動レンズ 7 2 a は、アクチュエータ 7 4 を介して基板 7 0 に保持される。さらに、2 段目の光偏向素子である可動レンズ 7 2 b は、アクチュエータ 7 6 を介してアクチュエータ 7 4 に保持される。このようにアクチュエータを多段構成にしてある。レンズ 7 2 a および 7 2 b は、それぞれアクチュエータ 7 4 および 7 6 によって独立に駆動される。レンズ 7 2 a および 7 2 b は、基板 7 0 面に沿って移動することができる。

【 0 0 3 3 】

後述するように、例えばレンズ 7 2 a で偏向角の粗調を行い、レンズ 7 2 b で偏向角の微調を行うときには、原理的には図 4 の構成の方が望ましい。しかし、基板上にマイクロマシン作製技術でアクチュエータを構成するときには、多段のアクチュエータを構成することは困難であるため、図 3 に示す構成の方が現状は作りやすい。ただし、図 4 の構成であっても、例えばレンズ 7 2 a および 7 2 b をカメラなどで用いられる超音波駆動モータ系とマイクロレンズとで構成するなどすれば、実現可能である。

【 0 0 3 4 】

次に、この実施の形態の光スイッチの動作原理につき、図 5 ～ 1 0 を参照して説明する。

【 0 0 3 5 】

図 5 には、図 1 に示した光偏向素子 1 8 a および 1 8 b にそれぞれ対応するレンズ 8 0 a および 8 0 b が示されている。レンズ 8 0 b の焦点距離を f_b とする。レンズ 8 0 b に入射する平行光は、レンズ 8 0 b から f_b の距離だけ離れた焦点 8 2 b の位置に集光する。レンズ 8 0 b にレンズ 8 0 a を組み合わせると焦点の位置は移動する。移動後の焦点 8 2 c は、レンズ 8 0 a および 8 0 b を組み合わせた複合レンズ系と等価な働きをするレンズの中心 8 4 から、 f_c の距離だけ離れた位置にある。図 3 に示したように、焦点 8 2 c に光源すなわち光ファイバの端面を置いて使用される。図 5 中、中心線 8 6 は、焦点 8 2 c および中心 8 4

を通る線である。レンズ 8 0 a の焦点距離を f_a とすると、次式 (1)

$$1/f_c = 1/f_a + 1/f_b \quad \dots (1)$$

の関係がある。

【0036】

図 6 には、レンズ 8 0 a が示されている。中心線 8 6 上に、上述した等価レンズの焦点 8 2 c が示されている。上述したように、通常はこの焦点 8 2 c の位置に光源が置かれる。次に、光源が焦点 8 2 c から中心線 8 6 に対して垂直な方向に距離 d だけ移動した場合を考える。レンズ 8 0 a と等価レンズの中心 8 4 とが比較的近い場合、光源の移動後の位置 8 8 とレンズ 8 0 a との距離は f_c にほぼ等しい。以下、この距離を記号 $\sim f_c$ で表す。

【0037】

光源が焦点 8 2 c の位置にあった場合には中心線 8 6 に光束の中心がある。しかし、光源を位置 8 8 へずらすと、光束の中心はレンズ 8 0 a から焦点距離 f_a だけ離れた位置で中心線 8 6 と交わる線 9 0 の方向へ屈折する。この場合、線 9 0 の延長上、レンズ 8 0 a より $\sim f_c$ だけ離れた位置 9 2 に仮想的な光源があるのと等価な状態になる。さらに、レンズ 8 0 a による光の集光効果は、光源が焦点 8 2 c の位置にあるときと同等である。つまり、位置 9 2 に光源があつて、線 9 0 に垂直にレンズ 8 0 a が置かれた状況と近似的に等しい。線 8 6 および 9 0 が交わる角度、すなわち偏向角を θ_a とする。このとき次式 (2)

$$\theta_a = \tan^{-1} (d/f_a) \quad \dots (2)$$

の関係が成立する。

【0038】

次に、レンズ 8 0 a および 8 0 b からなる複合レンズ系の動作の説明に戻る。図 7 には、複合レンズ系が中心線 8 6 上から、中心線 8 6 に垂直な方向に距離 D だけ移動した状態を示してある。また、図 7 には、レンズ 8 0 a および 8 0 b の移動後のレンズ 8 0 a' および 8 0 b' が示されている。また、図 7 には、複合レンズ系の中心 8 4 の移動後の中心 8 4' も示されている。光源が焦点 8 2 c の位置にあるとき、光は焦点 8 2 c と中心 8 4' とを結ぶ線 9 4 上を進む。中心線 8 6 と線 9 4 とのなす角度、すなわち偏向角 θ_D は次式 (3)

$$\theta_D = \tan^{-1} (D/f_c) \quad \dots (3)$$

で表される。

【0039】

次に、図8に示すように、レンズ80aのみが移動する場合、すなわちレンズ80aがレンズ80bに対して相対的に移動する場合を考える。レンズ80aは、中心線86上から中心線86に垂直な方向に距離dだけ移動する。図8には、レンズ80aの移動後のレンズ80a"が示されている。このときは、図6に示した場合と同様となり、焦点82c（図6の位置88に相当する。）に置かれた光源からの出射光は、線90の方向へ屈折する。したがって、レンズ80bからは、線90に垂直なレンズを介して仮想位置92に光源があるように見える。仮想位置92の本来の光源の位置88からのずれをdcとする。図6を参照して説明した結果を用いると次式（4）

$$dc = \sim f_c \cdot \tan \theta_a = \sim f_c \cdot d/f_a \quad \dots (4)$$

が得られる。

【0040】

また、位置92に置かれた光源からの出射光96は、レンズ80bによって線98の方向に屈折される。線86および98のなす角度、すなわち偏向角 θ は、傾いたレンズとレンズ80bとの2枚のレンズ系の焦点距離を考慮して、次式（5）

$$\theta = \tan^{-1} (dc/f_c) = \tan^{-1} [(d/f_a) (\sim f_c/f_c)] \quad \dots (5)$$

で与えられる。

【0041】

次に、別の考え方から上述の（5）式の結果を導く。図9では、レンズ80aが無い（ただし、図9中、レンズ80aがあった位置を記号80aで示す。）。図9の構成は、図5に示したように仮想位置82bに光源があるような場合へと図8の構成を変形したものに相当する。図9中の線90は、レンズ80aが無いときにあたかもこの方向に光源がずれているように光が進むことを示している。レンズ80aが無いときの焦点位置は、図5に示したようにレンズ80bからf

bの距離だけ離れた位置92'になる。仮想的な光源は位置92'に置かれるとする。光源の位置92'は、中心線86に対してdc'だけ離れている。距離dc'は次式(6)

$$dc' = dcfb/fc = (\sim fc/fc)(fb/fa)d \cdots (6)$$

で表される。

【0042】

また、位置92'に置かれた光源からの出射光96は、レンズ80bによって線98の方向に屈折される。線86および98のなす角度、すなわち偏向角 θ は次式(7)で与えられる。

【0043】

$$\theta = \tan^{-1}(dc'/fb) = \tan^{-1}[(d/fa)(\sim fc/fc)] \cdots (7)$$

したがって、前述の(5)式の結果と同一の結果が得られる。

【0044】

以上説明したように、偏向角 θ_D はレンズ系80aおよび80bの移動距離Dと複合レンズ系の焦点距離fcとの比D/fcにより決まる。また、($\sim fc/fc$)が1に近いと仮定すれば、偏向角 θ はレンズ80aのレンズ80bに対する相対位置dとレンズ80aの焦点距離faとの比d/faにより決定される。移動距離Dおよびdは、同等のアクチュエータを用いるので同等の大きさだとする。また、レンズ80bの集光力を大きくして(すなわち焦点距離fbを小さくする。)、レンズ80aの集光力を小さくすれば(すなわち焦点距離faを大きくする。)、 $fb/fa = r \ll 1$ となる。また、このとき θ_D/θ は fa/fc にほぼ等しい。 $fa/fc = (r+1)/r$ であるから $fa/fc \gg 1$ となる。したがって、 $\theta_D/\theta \gg 1$ となるから、偏向角 θ_D によって偏向角の粗調を行い、偏向角 θ によって偏向角の微調を行うことができるようになる。位置精度を δ とすると角度精度は、 θ_D では $\delta/fc = \theta_D \delta/D$ となり、 θ では $\delta/fa = \theta \delta/D$ となるから、最大偏向角に対する割合として同一の値(δ/D)となる。絶対値では θ_D と θ との精度は1:rとなる。

【0045】

また、次のように考えることもできる。図10は、レンズ80aおよび80bの複合レンズ系を1枚のレンズ80cで置き換えた様子を示している。このレンズ80cの焦点距離は f_c である。このように置き換えを行うと、図8および図9の状態はレンズ80cが中心線86から d_e の距離だけ移動した場合と等価になる。

【0046】

図10に示すように、位置92に置かれた光源からの出射光96は、レンズ80cによって線98の方向に屈折される。線86および98のなす角度、すなわち偏向角 θ は次式(8)

$$\theta = \tan^{-1}(d_e / f_c) \quad \dots (8)$$

で与えられる。

【0047】

(4) および(5)式より、次式(9)

$$d_e = (\sim f_c / f_a) d = d_c \quad \dots (9)$$

の関係が成立する。

【0048】

つまり、実際のレンズ80aの移動距離 d よりも $\sim f_c / f_a = r$ だけ小さくレンズ80cを移動したことで等価になる。よって、偏向角の粗調は複合レンズ系80aおよび80bを同時に動かすことで行え、偏向角の微調はレンズ80aだけを動かすことで行えることが分かる。

【0049】

以上説明したように、集光力の小さなレンズ80aと集光力の大きなレンズ80bとで光偏向素子群を構成しているので、偏向角精度はそれぞれのレンズに振り分けられる。レンズ80aでは、数十チャンネルであれば数%の精度でも良い。この場合、レンズ80bでは、隣接チャンネル間隔の数百ミクロン内で1ミクロンの精度を出すために数分の一%の精度が要求される。このように、従来必要とされた 10^{-4} の精度が2つの素子に振り分けられる。例えばレンズ80aの精度を 10^{-2} (二百ミクロン)程度とすると、レンズ80bでも 10^{-2} 程度の精度で良くなる。よって、簡便なレンズ位置の検出方法によっても全体として必要な精度

が得られる。

【0050】

以上の議論はレンズ系が3枚以上のレンズで構成される場合にも成立する。例えば、レンズ80aおよび80bの複合レンズ系をレンズ80cで置き換え、このレンズ80cに新たなレンズを加えた複合レンズ系を考えれば良い。このときは、偏向角の調整精度が3枚のレンズに振り分けられるので、個々のレンズに要求される位置精度が $10^{-1}/\alpha$ ($\alpha \sim 2$) 程度にまでさらに緩和される。このように、3枚以上の可動レンズ系を構成することで効果がさらに向上する。

【0051】

なお、この実施の形態では、光偏向素子群として入力側から順に集光力の小さなレンズ、および集光力の大きなレンズを配置したが、これとは逆に入力側から順に集光力の大きなレンズ、および集光力の小さなレンズを配置しても良い。

【0052】

〔第2の実施の形態〕

図11は、第2の実施の形態の光スイッチの構成を示す図である。この光スイッチ108は、複数個の光入力ポート10を有する入力側スイッチ要素110と、複数個の光出力ポート14を有する出力側スイッチ要素112とを備える。

【0053】

上述の入力側スイッチ要素110は、光入力ポート10の各々に、2個の光偏向素子18aおよび100aからなる入力側光偏向素子群114を備える。これら光偏向素子18aおよび100aは、光入力ポート10に入射される光信号の入射方向に沿って配置されている。

【0054】

また、上述の出力側スイッチ要素112は、光出力ポート14の各々に、2個の光偏向素子100bおよび22bからなる出力側光偏向素子群116を備える。これら光偏向素子100bおよび22bは、光出力ポート14から出射される光信号の出射方向に沿って配置されている。

【0055】

入力側スイッチ要素110と出力側スイッチ要素112とは、構造的に同じも

のである。

【0056】

この例では、入力側スイッチ要素110への光入力手段として、光ファイバ28が用いられる。この光ファイバ28の出力端面が、上述の光入力ポート10に接続される。また、出力側スイッチ要素112からの光出力手段として、光ファイバ30が用いられる。この光ファイバ30の入力端面が、上述の光出力ポート14に接続される。

【0057】

図12は、第2の実施の形態の光スイッチの要部構成を示す断面図である。図12には、図11に示した入力側スイッチ要素110に相当する部分が示されている。出力側スイッチ要素112も図12に示す入力側スイッチ要素110と同じ構成である。

【0058】

この実施の形態では、入力側光偏向素子群114を構成する一方の光偏向素子18aは基板32（図11では図示を省略）上に設置される。同様に、入力側光偏向素子群114を構成する他方の光偏向素子100aは別の基板104a上に設置される。

【0059】

また、出力側光偏向素子群116を構成する一方の光偏向素子22bは不図示の基板上に設置される。同様に、出力側光偏向素子群116を構成する他方の光偏向素子100bは別の基板104b上に設置される。

【0060】

この実施の形態では、上述の光偏向素子18aおよび22bとして可動レンズが用いられている。この可動レンズは、光信号の入射方向または出射方向に垂直な面内で移動可能なレンズである。また、この実施の形態では、上述の光偏向素子100aおよび100bとして可動ミラーが用いられている。

【0061】

このように、第2の実施の形態の光スイッチの、第1の実施の形態の光スイッチとの相違点は、一方の可動レンズの代わりに可動ミラーを備えた点にある。光

は、可動レンズ 1 8 a、可動ミラー 1 0 0 a、可動ミラー 1 0 0 b、可動レンズ 2 2 b の順に光スイッチ内を通過する。

【0 0 6 2】

図 1 2 に示すように、可動ミラー 1 0 0 a は、光ファイバ 2 8 からの光信号の入射方向に垂直な回転軸（ヒンジ） 1 0 2 を有している。可動ミラー 1 0 0 a は、基板 1 0 4 a にヒンジ 1 0 2 を介して固定されている。基板 1 0 4 a 上、可動ミラー 1 0 0 a と対向する位置に、電極 1 0 6 a および 1 0 6 b が設けられている。これらの電極 1 0 6 a および 1 0 6 b のいずれかを荷電させると、その静電引力によって、荷電した電極の側に可動ミラー 1 0 0 a が傾く。したがって、この可動ミラー 1 0 0 a は、図 1 および図 3 に示した可動レンズ 1 8 b と同等の働きをする。よって、この第 2 の実施の形態の構成にあっても、偏向角の微調と粗調とが可能である。偏向角精度はそれぞれの光偏向素子に振り分けられる。

【0 0 6 3】

なお、図 1 1 中の光偏向素子 1 0 0 a および 1 0 0 b 間の位置にミラー 1 1 8 を置いて反射構成とすれば、入力側スイッチ要素 1 1 0 のみで入力光の偏向、および偏向後の光の出力が可能になるため、出力側スイッチ要素 1 1 2 は省略できる。

【0 0 6 4】

〔第 3 の実施の形態〕

次に、第 3 の実施の形態では、光スイッチのチャネル数を増大するための構成について説明する。まず、この構成を備えない光スイッチの問題点を明らかにする。

【0 0 6 5】

図 1 3 に示すように、典型的な光スイッチは、光ファイバ 2 8 および 3 0 間に、コリメータレンズ 1 2 0 および 1 2 2 からなるコリメータ系を有している。可動レンズ型の光偏向素子を用いた装置では、コリメータレンズ 1 2 0 および 1 2 2 そのものが移動をして、光束の偏向を行う。可動ミラー型の光偏向素子を用いた装置では、光路中に設けられた可動ミラーによって光束の偏向を行う。ここで、コリメータレンズ 1 2 0 および 1 2 2 間の距離を L とし、各レンズ 1 2 0 およ

び 1 2 2 の焦点距離を f とする。また、コリメータレンズあるいは光束の最大径を Φ とする。回折の影響を考慮した解析より、

$$L < \pi \Phi^2 / \lambda \quad \dots (10)$$

が必要となる。ここで λ は光の波長である。光ファイバ 2 8 の入出力角度あるいは回折角を θ_d とすると

$$\Phi = f \theta_d \quad \dots (11)$$

の関係がある。

【0066】

次に、図 1 4 を参照して、光偏向素子が可動ミラーである場合について精度計算を行う。図 1 4 は、可動ミラー型光スイッチの要部構成を示す図である。図 1 4 には、出力側スイッチ要素に相当する部分が示されている。この図には、入力側光偏向素子（不図示）で偏向された光束が、出力側の可動ミラー 1 2 4 で偏向された後に、レンズ 1 2 2 で集光され、光ファイバ 3 0 に入力される様子が示されている。図中の可動ミラー 1 2 4 の状態のように正しいミラー角度の場合には、光束 1 2 6 は正しい位置で光ファイバ 3 0 に入力される。ミラー 1 2 4 の角度が記号 1 2 4' で示すように正しい角度からずれると、光は記号 1 2 6' で示す光束のように焦点位置がずれてしまい光ファイバ 3 0 に入らなくなる。ミラー角度のずれによる光束の角度ずれを $d\theta$ とする。焦点位置ずれを $\delta \Delta S$ とおく。すると

$$\delta \Delta S = f d\theta \quad \dots (12)$$

が成立する。この角度ずれ $d\theta$ は、出力側の可動ミラー 1 2 4 の角度ずれのみでなく、入力側の光偏向素子を可動ミラーとした場合にはその入力側可動ミラーの角度ずれによっても生じる。

【0067】

図 1 や図 1 1 を参照して説明したように、入力ポートおよび出力ポート間には 3 次元光配線が形成される。入力側および出力側光偏向素子は、それぞれポートごとに配置される。N チャンネルの光スイッチの場合、ポートの配列面に平行な面内において、縦および横方向にそれぞれ $N^{1/2}$ 個の光偏向素子が並ぶ。各光偏向素子はクロストーク確保の必要性から 4Φ 以上のピッチで並べる必要がある。し

たがって、ポートの配列面の一边の大きさは $4 \Phi N^{1/2}$ となる。したがって、必要とされる最大傾斜ミラー角 θ_m は

$$\theta_m = 2 \Phi N^{1/2} / L \quad \dots (13)$$

となる。(10) および (13) 式から、

$$\Phi > 2 \lambda N^{1/2} / (\pi \theta_m) \quad \dots (14)$$

を得る。

【0068】

ミラー角度精度を%で表すために $\varepsilon = \delta \theta / \theta_m$ を定義する。すると、(11)、(12)、(14) 式より、

$$N < \{ \pi \theta_d \delta \Delta S / (2 \varepsilon \lambda) \}^2 \quad \dots (15)$$

を得る。 $\delta \Delta S_m$ を必要なロス以内に抑えるための焦点位置ずれの最低値とすると、

$$N = \{ \pi \theta_d \delta \Delta S_m / (2 \varepsilon \lambda) \}^2 \quad \dots (16)$$

と表せる。(16) 式の結果は、誤差精度 ε を良く(小さく)する以外に、光ファイバの回折角 θ_d を大きくすることによっても、チャネル数 N を増大できることを示している。あるいは、 $\delta \Delta S_m$ を大きくすることによってもチャネル数 N を増大することができる。しかし、単一モード光ファイバの場合には、 $\delta \Delta S_m$ を大きくするには光ファイバのモード径で大きくすることになり、その場合 θ_d は小さくなってしまうため効果が無い。

【0069】

チャネル数 N の計算例を示す。 $\delta \Delta S_m$ および θ_d の値を典型的なシングルモード光ファイバの場合の $1 \mu m$ 、 0.2 rad とする。誤差 ε を 1%、波長 λ を $1.55 \mu m$ とする。このとき $N = 100$ となる。

【0070】

次に、図15および図16を参照して、光偏向素子が可動レンズである場合について同様の解析を行う。図15および図16は、可動レンズ型光スイッチの要部構成を示す図である。

【0071】

図15には、入力側スイッチ要素に相当する部分が示されている。この図には

、入力側光ファイバ 2 8 からの出射光が、入力側の可動レンズ 1 2 8 で偏向される様子が示されている。図中、アクチュエータ 1 3 0 a および 1 3 0 b は、可動レンズ 1 2 8 を移動させるためのモータである。梁 1 3 2 a および 1 3 2 b は、アクチュエータで発生した力をレンズ 1 2 8 に伝えるものである。また、図中の記号 a および b は、それぞれ可動レンズ 1 2 8 および 1 2 8' の中心を表す。

【 0 0 7 2 】

また、図 1 6 には、出力側スイッチ要素に相当する部分が表示されている。この図には、入力側可動レンズ 1 2 8 で偏向された光が、出力側の可動レンズ 1 3 8 で集光され、光ファイバ 3 0 に入力される様子が示されている。図中、アクチュエータ 1 4 0 a および 1 4 0 b は、可動レンズ 1 3 8 を移動させるためのモータである。梁 1 4 2 a および 1 4 2 b は、アクチュエータで発生した力をレンズ 1 3 8 に伝えるものである。図中には、移動後の可動レンズ 1 3 8' が示されている。

【 0 0 7 3 】

光ファイバ 2 8 からの光束 1 3 4 は、可動レンズ 1 2 8 でコリメートされる。可動レンズ 1 2 8 を記号 1 2 8' で示す位置に移動させることに対応して、コリメート後の光束 1 3 6 は光束 1 3 6' のように偏向される（図 1 5）。出力側ではこの逆過程が行われ、入力側で偏向された光束はレンズ 1 3 8 (1 3 8') を通過後、光ファイバ 3 0 に入力される（図 1 6）。

【 0 0 7 4 】

レンズ移動距離を ΔS とすると、偏向角 θ は

$$\theta = \Delta S / f \quad \cdots (17)$$

で表される。移動距離 ΔS の最大値に対して、レンズ 1 2 8 の直径 Φ_L は光束の径 Φ をカバーする必要があるので、下式 (18)

$$\Phi_L = \gamma (2 \Delta S + \Phi) \quad \cdots (18)$$

が成立しなければならない。

【 0 0 7 5 】

ここで γ は $\gamma > 1$ を満たす値のパラメータである。両方のアクチュエータの収納スペースを $2 \alpha \Delta S$ で表す。 α は $\alpha > 1$ を満たす値のパラメータである。よっ

て、光偏向素子のサイズは $\Phi_L + 2\alpha\Delta S$ となる。したがって、ポートの配列面の一辺の大きさは $(\Phi_L + 2\alpha\Delta S) N^{1/2}$ となる。したがって、必要とされる最大偏向角 θ_m は

$$\theta_m = (\Phi_L + 2\alpha\Delta S) N^{1/2} / L \quad \dots (19)$$

で与えられる。(10)、(11)、(18)、(19)式より、

$$\theta_m = N^{1/2} \{ \gamma (2\Delta S + f\theta_d) + 2\alpha\Delta S \} / \{ \pi (f\theta_d)^2 / \lambda \} \quad \dots (20)$$

が得られる。

【0076】

一方、最大移動距離を ΔS_{MAX} とすれば、(17)式より $\Delta S_{MAX} / f = \theta_m$ である。よって、 f の値は次式(21)で与えられる。

【0077】

$$f = \Delta S_{MAX} N^{1/2} (2\gamma + 2\alpha) / \{ \pi \theta_d \Delta S_{MAX} / \lambda - \gamma N^{1/2} \} \quad \dots (21)$$

(21)式と(10)式とより L の値が求まる。出力側で誤差を%で表し、 $\delta \Delta S_m / \Delta S_{MAX} = \varepsilon$ とすると

$$L = (\pi / \lambda) (\delta \Delta S_m / \varepsilon) N^{1/2} (2\gamma + 2\alpha) / \{ \pi \theta_d (\delta \Delta S_m / \varepsilon) / \lambda - \gamma N^{1/2} \} \quad \dots (22)$$

を得る。チャネル数 N が増加すると L は増加する傾向がある。やはり、可動ミラーの場合と同様に θ_d が大きいほど L が短くなり実現性が高まる。

【0078】

計算例を示す。 $\alpha = 1$ 、 $\gamma = 1$ として、他のパラメータを可動ミラーの場合と同一にすると、 $N = 529$ 、 $L = 28$ (cm)を得る。

【0079】

以上説明したように、チャネル数 N を増大するためには L を長く取らなければならない。 L を長くするにはビーム径 Φ を大きくする必要がある。しかし、 Φ を大きくするに当たり、光ファイバの回折角 θ_d が小さいと焦点距離が長くなるため、角度誤差による焦点位置ずれが大きくなる。

【0080】

次に、以上の点を踏まえて、第 3 の実施の形態の光スイッチにつき説明する。
この実施の形態の光スイッチでは、チャンネル数を増大するために、光ファイバの回折角 θ_d を拡大する光学系が組み込まれている。

【0081】

第 3 の実施の形態の光スイッチの基本的な構成は、図 1 3 に示した装置と同様である。すなわち、光入力ポートに接続された入力側光ファイバと、光出力ポートに接続された出力側光ファイバと、これら光ファイバ間に挿入されたコリメータ系とが備えられる。また、入力側および出力側のそれぞれに可動レンズまたは可動ミラーで構成された光偏向素子が備えられる。

【0082】

図 1 7 は、第 3 の実施の形態の光スイッチの要部構成を示す図である。図 1 7 には、入力側のコリメータレンズ 1 2 0 と、入力側の光ファイバ 1 4 4 とが示されている。図 1 7 には、光偏向素子の図示が省略されているが、上述したようにコリメータレンズ 1 2 0 そのものを可動レンズとして用いることもある。また、光ファイバ 1 4 4 の端面が光入力ポートとして用いられる。出力側の構成も図 1 7 の構成と同様である。

【0083】

そして、この実施の形態の光スイッチでは、光入力ポートおよび光出力ポートに、それぞれ入力側光ファイバおよび出力側光ファイバの光入出力角を拡大するための光学系が備えられる。図 1 7 には、入力側の光ファイバ 1 4 4 の光入力ポートに備えられたこの光学系 1 4 6 が示されている。

【0084】

光学系 1 4 6 は、光ファイバ 1 4 4 の端部に形成されている。この光ファイバ 1 4 4 の端部は、端面 1 4 4 a に向かって広がるテーパ構造のコア 1 4 8 と、コア 1 4 8 を被覆するクラッド 1 5 0 とで構成される。そして、端面（出射面）1 4 4 a は凹面形状、この例では円錐形状としてある。

【0085】

上述した光ファイバ 1 4 4 の端部では、光ファイバ内において導波光は平面波になっている。この平面波を反射あるいは屈折現象を用いて所望の角で拡がって

いく光に変換する。出射面 1 4 4 a が円錐状反射面であれば光は同心円状の光束として伝搬し、コリメータレンズ 1 2 0 通過後はいわゆるベッセルビーム的に伝搬してゆく。出射面 1 4 4 a が円錐状の屈折面であっても同様であるが、この面での全反射角度の制限から光ファイバ 1 4 4 における回折角 θ_d は 48° が限界である。それでも通常の構成に比して 4 倍の改善がなされる。

【 0 0 8 6 】

出射面 1 4 4 a は、円錐面以外にも例えば凹レンズ形状にしても良い。

【 0 0 8 7 】

コア 1 4 8 のテーパ構造は必ずしも必要ではないが、このような構造は焦点位置のずれに対する許容度を増大させる。他に例えば MMI (multi-mode interference) カプラ構造を採用しても良い。

【 0 0 8 8 】

次に、この実施の形態の光スイッチの動作につき説明する。例えば上述したコリメータレンズ 1 2 0 を可動レンズとした場合、出力側のどのコリメータレンズへ光を送り込むかの情報に基づきレンズ 1 2 0 が駆動される。その結果、チャンネル間の切り替えが行われる。また、光が送り込まれた出力側のコリメータレンズ（可動レンズ）の微小な角度調整によって、出力側光ファイバに最大光量で光が入力されるようにする。必要な切り替え角度は、出力側のレンズピッチ、レンズ数、入出力光偏向素子間距離 L で決定される。この角度は、可動ミラー型の場合には θ_d に無関係に設定できる。一方、可動レンズ型の場合には f が短いほど偏向角が大きくなり、 L が縮小する。

【 0 0 8 9 】

図 1 7 に示す構成では、回折角 θ_d を大きくとることにより、必要な光束幅を確保しつつレンズ 1 2 0 とレンズ焦点面との距離 f を縮めることが可能となっている。これにより、角度変化 $d\theta$ に対する焦点位置変化 $f d\theta$ が低減される。

【 0 0 9 0 】

以上説明した光スイッチによれば、回折角度を n 倍することで、同一の精度で実現可能なチャンネル数 N を n^2 倍にすることが可能である。すなわち、チャンネル数が N であれば従来に比べて必要な精度は n 倍緩和される。

【 0 0 9 1 】

なお、例えば出射面 1 4 4 a を上述の形状とする代わりに凹レンズを用いることもできるが、その場合は、レンズ前の角度変化が拡大されてしまう問題を解決する必要がある。すなわち位置変化減少によるロス減少と、入力角変化増大によるロス増大のトレードオフが問題となる。上述した形状の出射面 1 4 4 a を採用すればこの問題は無い。

【 0 0 9 2 】

図 1 7 に示した構成の他にも、例えば図 1 8 に示す光学系を用いることも回折角の拡大に有効である。図 1 8 は、第 3 の実施の形態の光スイッチの変形例の要部構成を示す図である。図 1 8 には、出力側のコリメータレンズ 1 2 2 と、出力側の光ファイバ 1 5 4 とが示されている。光ファイバ 1 5 4 の端面が光出力ポートとして用いられる。入力側の構成も図 1 8 の構成と同様である。

【 0 0 9 3 】

図 1 8 に示す光学系 1 5 2 は、出力側の光ファイバ 1 5 4 の端部に形成された凸レンズ形状の出射面 1 5 4 a である。この系では先球部（入射面） 1 5 4 a を凸レンズとして用い、この凸レンズの焦点 1 5 6 をコリメータレンズ 1 2 2 との共焦点にしている。この凸レンズの焦点距離が十分に小さければ回折角を大きくすることができる。その結果、コリメータレンズ 1 2 2 に入射する光は、その角度誤差が拡大された状態で光ファイバ 1 5 4 に入力されるようになる。凸レンズとコリメータレンズ 1 2 2 との焦点比を r にすると倍率は r 倍である。 r は必要な光束径 Φ と光ファイバのモード径との比に一致する。光ファイバ 1 5 4 への入力許容角度は 0.5 dB で 1.5 倍程度である。光ファイバ 1 5 4 のコア 1 4 8 は、この許容角度を保ったまま r の比をあまり大きくしないようにするために、テーパ構造にしてある。

【 0 0 9 4 】

〔第 4 の実施の形態〕

第 3 の実施の形態では、回折角 θ_d を増大するための光学系を示したが、その代わりに光束径 Φ を増大する光学系を用いても良い。

【 0 0 9 5 】

第 4 の実施の形態の光スイッチの基本的な構成は、図 1 3 に示した装置と同様である。すなわち、光入力ポートに接続された入力側光ファイバと、光出力ポートに接続された出力側光ファイバと、これら光ファイバ間に挿入されたコリメータ系とが備えられる。また、入力側および出力側のそれぞれに可動レンズまたは可動ミラーで構成された光偏向素子が備えられる。

【 0 0 9 6 】

図 1 9 は、第 4 の実施の形態の光スイッチの要部構成を示す図である。図 1 9 には、出力側のコリメータレンズ 1 5 8 と、出力側の光ファイバ 1 6 0 とが示されている。光ファイバ 1 6 0 の端面は上述した光出力ポートとして用いられる。入力側の構成も図 1 9 の構成と同様である。なお、図 1 9 では、光偏向素子の図示が省略されている。また、図 1 9 では、光ファイバ 1 6 0 のクラッドの図示が省略されている。

【 0 0 9 7 】

さらに、この実施の形態の光スイッチでは、光入力ポートおよび光出力ポートに、それぞれ光のビーム径を拡大するための光学系を備えている。図 1 9 には、出力側の光ファイバ 1 6 0 の光出力ポートに備えられたこの光学系 1 6 2 が示されている。

【 0 0 9 8 】

具体的に光学系 1 6 2 は、 $m^2 \times 1$ カプラ 1 6 4 (m は整数) とコリメータレンズ 1 5 8 とで構成される。 $m^2 \times 1$ カプラ 1 6 4 は、光ファイバ 1 6 0 の端部に結合された幅広の導波部である。また、コリメータレンズ 1 5 8 は、カプラ 1 6 4 の端面に対向して設けられ、このカプラ 1 6 4 の端面に平行な面内に配置された複数個の小レンズ 1 5 8 a で構成されている。

【 0 0 9 9 】

この構成によれば、小レンズ 1 5 8 a の各々で分担して集光が行われ、集光された光の各々がカプラ 1 6 4 で合流された後に光ファイバ 1 6 0 に入力される。よって、同一の光束径、焦点距離であっても必要な回折角の大きさは m 分の 1 (Φ_L / Φ) とすることができる。

【 0 1 0 0 】

なお、小レンズ 1 5 8 a が有限個の場合、よく知られているように副光束の存在が問題となる。入出力とも図 1 9 の構成とするときには目的としていない入力光（副光束）を受けないように、入出力光偏向素子間の距離、ピッチ（すなわち光偏向素子間の角度）を設定する必要がある。

【0 1 0 1】

なお、この実施の形態では、小レンズ 1 5 8 a を光束発生、コリメート用素子として用いているが、同様の機能を有する他の素子、例えば回折格子、球面ミラーなどであっても良い。

【0 1 0 2】

以上説明した光スイッチによれば、回折角度を n 倍することで同一の精度で実現可能なチャネル数 N を n^2 倍にすることが可能である。すなわち、チャネル数が N であれば従来に比べて必要な精度は n 倍緩和される。

【0 1 0 3】

〔第 5 の実施の形態〕

図 2 0 は、第 5 の実施の形態の光スイッチの構成を示す図である。この光スイッチは、複数個の光入力ポート 1 0 と、複数個の光出力ポート 1 4 とを有している。また、光入力ポート 1 0 の各々に、光信号の入射方向に垂直な回転軸を有する可動ミラー 1 6 6 が入力側光偏向素子として備えられる。また、光出力ポート 1 4 の各々に、光信号の出射方向に垂直な回転軸を有する可動ミラー 1 6 8 が出力側光偏向素子として備えられる。さらに、入力側および出力側光偏向素子間に、入力側の可動ミラー 1 6 6 で反射された光を出力側の可動ミラー 1 6 8 上に集光するための光学素子 1 7 0 が設けられている。

【0 1 0 4】

また、この例では、光入力ポート 1 0 への光入力手段として、光ファイバ 2 8 が用いられる。この光ファイバ 2 8 の出力端面が、上述の光入力ポート 1 0 に接続されている。また、光出力ポート 1 4 からの光出力手段として、光ファイバ 3 0 が用いられる。この光ファイバ 3 0 の入力端面が、上述の光出力ポート 1 4 に接続されている。

【0 1 0 5】

また、この例では、光入力ポート 1 0 の数に応じた個数の可動ミラー 1 6 6 が基板 1 7 2 上に設置されている。同様に、光出力ポート 1 4 の数に応じた個数の可動ミラー 1 6 8 が基板 1 7 4 上に設置されている。これら可動ミラーの構成は、図 1 1 を参照して説明した可動ミラーの構成と実質的に同じである。

【0 1 0 6】

また、この例では、光入力ポート 1 0 および可動ミラー 1 6 6 間に、光入力ポート 1 0 ごとにコリメータレンズ 1 7 6 が設けられている。同様に、光出力ポート 1 4 および可動ミラー 1 6 8 間に、光出力ポート 1 4 ごとにコリメータレンズ 1 7 8 が設けられている。これらコリメータレンズを可動レンズとしても良い。この例では、これらコリメータレンズを、設計により任意方向に集光可能な回折格子素子により構成している。

【0 1 0 7】

上述の光学素子 1 7 0 は、複数個のレンズが一平面内に配列された構造のコリメート用素子である。可動ミラー 1 6 6 および 1 6 8 が光学素子 1 7 0 を介して直線状の光路で結ばれているときには、上述した可動ミラー 1 6 6、1 6 8 のピッチが、光学素子 1 7 0 を構成するレンズのピッチの 2 倍になるように、これらレンズは配列される。光学素子 1 7 0 を構成するレンズの直径は、コリメート長に応じたものが必要でありこれは (1 0) 式で与えられる。なお、可動ミラー 1 6 6、1 6 8 と光学素子 1 7 0 との間に凸レンズを挿入すれば、光学素子 1 7 0 を構成するレンズのピッチを低減することができる。

【0 1 0 8】

光入力ポート 1 0 とコリメータレンズ 1 7 6 との距離、および光出力ポート 1 4 とコリメータレンズ 1 7 8 との距離は、後述するようにレンズ 1 7 6 と可動ミラー 1 6 6 との距離、およびレンズ 1 7 8 と可動ミラー 1 6 8 との距離よりも著しく近くすると可動ミラー 1 6 6、1 6 8 の制御誤差が低減される。

【0 1 0 9】

この構成によれば、光ファイバ 2 8 からの光は光入力ポート 1 0 に対応したコリメータレンズ 1 7 6 により入力側可動ミラー 1 6 6 に集光される。入力側可動ミラー 1 6 6 によって、光は所望の出力側可動ミラー 1 6 8 の方向に偏向される

。途中、入力側可動ミラー 1 6 6 で反射された光は、光学素子 1 7 0 によって集光される。出力側可動ミラー 1 6 8 によって、光は所望のコリメータレンズ 1 7 8 の方向に偏向される。コリメータレンズ 1 7 8 で集光された光は、レンズ 1 7 8 に対応する光出力ポート 1 4 に接続された光ファイバ 3 0 に入力される。

【 0 1 1 0 】

次に、図 2 1 および図 2 2 を参照して、誤差の光線行列による解析を行う。図 2 1 (A) には、図 2 0 に示した光スイッチのうちの可動ミラー 1 6 6、光学素子 1 7 0 および可動ミラー 1 6 8 の部分が表示されている。図 2 1 (B) および図 2 2 には、図 2 0 に示した光スイッチのうちの可動ミラー 1 6 8、コリメータレンズ 1 7 8 および光ファイバ 3 0 の部分が表示されている。

【 0 1 1 1 】

光線行列による解析では、光線位置および光線角度を成分とするベクトル（光線位置、光線角度）が用いられる。また、ある光学系を通った光線がどう変化するかを記述する 2×2 行列 (M) が光線行列として用いられる。行列 (M) の、第 1 行第 1 列成分、第 1 行第 2 列成分、第 2 行第 1 列成分および第 2 行第 2 列成分をそれぞれ m_{11} 、 m_{12} 、 m_{21} 、 m_{22} と表す。

【 0 1 1 2 】

図 2 1 (A) の場合、可動ミラー 1 6 6 と光学素子（レンズ） 1 7 0 との間の光線行列は下式 (2 3 a) ～ (2 3 d) で表される。

【 0 1 1 3 】

$$m_{11} = 1 - L / (2f) \quad \dots (23a)$$

$$m_{12} = L - L^2 / (4f) \quad \dots (23b)$$

$$m_{21} = -1 / f \quad \dots (23c)$$

$$m_{22} = 1 - L / (2f) \quad \dots (23d)$$

ここで、 f はレンズ 1 7 0 の焦点距離である。また、ミラー 1 6 6 とレンズ 1 7 0 との距離、およびレンズ 1 7 0 とミラー 1 6 8 との間の距離は共に $L/2$ である。 $L/2 = 2f$ の場合には、光線行列は下式 (2 4 a) ～ (2 4 d) で表される。

【 0 1 1 4 】

$$m_{11} = -1 \quad \dots (24a)$$

$$m_{12} = 0 \quad \dots (24b)$$

$$m_{21} = -4/L \quad \dots (24c)$$

$$m_{22} = -1 \quad \dots (24d)$$

よって、ミラー166の角度によってミラー168上での位置ずれが生じることが無くなる。ミラー166の角度によって、ミラー168上での焦点位置ずれから生じる角度ずれを無くすることもできる。

【0115】

光ファイバ30への光の入力角度を θ_e とし、光ファイバ30の入力端面における光束の位置ずれを δ とし、ミラー168の角度を θ_{cnt} とすると

$$\theta_e = -4\delta/L - \theta_{cnt} \quad \dots (25)$$

が成り立つ。

【0116】

図21(B)の場合、ミラー168と光ファイバ30との間の光線行列は下式(26a)～(26d)で表される。

【0117】

$$m_{11} = 1 - d/f \quad \dots (26a)$$

$$m_{12} = d_1 + d - d_1 d/f \quad \dots (26b)$$

$$m_{21} = -1/f \quad \dots (26c)$$

$$m_{22} = 1 - d_1/f \quad \dots (26d)$$

ここで、 d_1 はミラー168とレンズ178との間の距離を表し、 d はレンズ178と光ファイバ30の入力端面との間の距離を表している。 $1/d + 1/d_1 = 1/f$ の場合、 $m_{12} = 0$ となり、ミラー168の角度によって光ファイバ30での焦点位置が変化することが無くなる。このとき、光線行列は下式(27a)～(27d)で表される。

【0118】

$$m_{11} = -d/d_1 \quad \dots (27a)$$

$$m_{12} = 0 \quad \dots (27b)$$

$$m_{21} = -1/f \quad \dots (27c)$$

$$m_{22} = -d_1 / d \cdots (27d)$$

d/d_1 を小さくすることによって、図22に示したような光束の位置ずれ δ による像の位置ずれ $x_e = d/d_1 \delta$ を小さくすることが可能である。また、光ファイバ30に入力する光の入力角度 θ_e は

$$\theta_e = -\delta / f - \theta_{cnt} d_1 / d \cdots (28)$$

で表される。

【0119】

角度 θ_e もミラー168の角度 θ_{cnt} を調整することによって実質的に0度にすることが可能である。

【0120】

一般的に光ファイバ30の入力許容角度は1.5度程度あり、マイクロマシンミラーの可能偏向角(6~10度)に比べて大きい。そのため、焦点位置 δ の許容誤差(1 μ m)よりも条件がゆるいと考えられる。また、 δ に対して f と L が充分大きければ θ_e は無視できるほど小さくなる。

【0121】

レンズ176、178を半固定の可動型とすることにより、組み立て時に光ファイバ28、30の位置がずれていても、ミラー166、168での光束のスポット位置を中心にもってることが可能である。レンズ176、178は位置合わせが終了後は動かさず、光路の切り替えはミラー166、168により行う。あるいは $m_{12} = d_1 + d - d_1$ $d/f = d_e$ を微小量とすることによって、ミラー166、168の粗い角度制御でわずかな焦点位置変化を得ることが可能になる。よって、組み立て精度の調整が可能となる。

【0122】

以上説明したように、この実施の形態の光スイッチによれば、光学素子170を構成するレンズのいずれかを選択するようなミラー166、168の大きな角度変化で光路切り替えがなされる。レンズ170に当てられていさえすれば光束の厳密な位置は問題とならないため、ミラー166、168の角度制御精度が緩和される。このため、ミラー切り替えを高速で行うことが可能となる。

【0123】

また、図 2 3 には、第 5 の実施の形態の光スイッチの第 1 変形例が示されている。図 2 0 に示した光スイッチでは、レンズ 1 7 0 のピッチがミラー 1 6 6、1 6 8 のピッチの 2 分の 1 であったが、図 2 3 にはこれらのピッチが概略等しい例が示されている。そのために、ミラー 1 6 6、1 6 8 に対応するミラー 1 8 2、1 8 4 のピッチが図 2 3 の例では図 2 0 の例に比べて小さくなっている。また、光学素子 1 7 0 の代わりに、ホログラムのような偏向機能と集光機能とを合わせ持つ光学素子（レンズ）1 8 0 が用いられている。この例では、光学素子 1 8 0 を構成するレンズが、入力側光偏向素子（可動ミラー 1 8 2）および出力側光偏向素子（可動ミラー 1 8 4）間における光経路に対応して個別に設けられる。

【0 1 2 4】

図 2 3 中の光路 1 8 6 に注目する。図 2 0 ではこの光路に対応する光路を伝搬する光が、ミラー 1 6 6 で反射された後、最も左側のレンズ 1 7 0 に入っている。しかし、図 2 3 の光路 1 8 8 a のように、光路 1 8 6 を進む光がミラー 1 8 2 で反射された後に、ここでは中央より一つ左のレンズ 1 8 0 に入るようにする。また、光路 1 8 6 を進む光のうち、ミラー 1 8 2 で反射された後に最も左のレンズ 1 8 0 に入る光路 1 8 8 b を進む光は、集光と偏向を受け、図 2 0 の場合と同じく最も左のミラー 1 8 4 に入るようにする。ミラー 1 8 2、1 8 4 の動作で角度を図中の左右（1 8 8 a 側および 1 8 8 b 側）に振れるようになるため、チャネル数が倍になる。また、ミラー 1 8 2 を搭載した基板 1 7 2 と、ミラー 1 8 4 を搭載した基板 1 7 4 とを小型化できる。

【0 1 2 5】

また、図 2 4 には、第 5 の実施の形態の光スイッチの第 2 変形例が示されている。図 2 4 に示した光スイッチでは、表面に反射面を有した光学素子 1 9 0 が図 2 0 の光学素子 1 7 0 の代わりに設けられる。その結果、入出力ポートの共通化が図れる。したがって、出力側の可動ミラー 1 6 8、コリメータレンズ 1 7 8、光ファイバ 3 0 などは不要である。

【0 1 2 6】

【発明の効果】

この発明の光スイッチによれば、光ビームの偏向を行うために複数個の光偏向

素子を用いているので、偏向角度の精度が各光偏向素子に振り分けられる。したがって、各光偏向素子の必要精度が緩和される。

【0 1 2 7】

また、この発明の他の光スイッチによれば、光入出力角を拡大するための光学系または光のビーム径を拡大するための光学系を備えることにより、必要な精度を確保しつつもチャンネル数の増大が図れる。

【0 1 2 8】

また、この発明のさらに他の光スイッチによれば、入力側の可動ミラーで反射された光を出力側の可動ミラーに集光するための光学素子を備えることにより、可動ミラーの角度制御精度が緩和され、ミラー角の切り替えを高速で行うことが可能になる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

第 1 の実施の形態の光スイッチの構成を示す図である。

【図 2】

可動レンズの構成例を示す図である。

【図 3】

光スイッチの一部の断面を示す図である。

【図 4】

入力側スイッチ要素の断面を示す図である。

【図 5】

実施の形態の光スイッチの動作原理の説明に供する図である。

【図 6】

実施の形態の光スイッチの動作原理の説明に供する図である。

【図 7】

実施の形態の光スイッチの動作原理の説明に供する図である。

【図 8】

実施の形態の光スイッチの動作原理の説明に供する図である。

【図 9】

実施の形態の光スイッチの動作原理の説明に供する図である。

【図 1 0】

実施の形態の光スイッチの動作原理の説明に供する図である。

【図 1 1】

第 2 の実施の形態の光スイッチの構成を示す図である。

【図 1 2】

第 2 の実施の形態の光スイッチの要部構成を示す図である。

【図 1 3】

典型的な光スイッチの要部構成を示す図である。

【図 1 4】

可動ミラー型光スイッチの要部構成を示す図である。

【図 1 5】

可動レンズ型光スイッチの要部構成を示す図である。

【図 1 6】

可動レンズ型光スイッチの要部構成を示す図である。

【図 1 7】

第 3 の実施の形態の光スイッチの要部構成を示す図である。

【図 1 8】

第 3 の実施の形態の光スイッチの変形例の要部構成を示す図である。

【図 1 9】

第 4 の実施の形態の光スイッチの要部構成を示す図である。

【図 2 0】

第 5 の実施の形態の光スイッチの構成を示す図である。

【図 2 1】

誤差の光線行列による解析の説明に供する図である。

【図 2 2】

誤差の光線行列による解析の説明に供する図である。

【図 2 3】

第 5 の実施の形態の光スイッチの第 1 変形例を示す図である。

【図 2 4】

第 5 の実施の形態の光スイッチの第 2 変形例を示す図である。

【符号の説明】

- 1 0 : 光入力ポート
- 1 2, 1 1 0 : 入力側スイッチ要素
- 1 4 : 光出力ポート
- 1 6, 1 1 2 : 出力側スイッチ要素
- 1 8 a, 1 8 b, 2 2 a, 2 2 b, 1 0 0 a, 1 0 0 b : 光偏向素子
- 2 0, 1 1 4 : 入力側光偏向素子群
- 2 4, 1 1 6 : 出力側光偏向素子群
- 2 6, 1 0 8 : 光スイッチ
- 2 8, 3 0, 7 8, 1 4 4, 1 5 4, 1 6 0 : 光ファイバ
- 3 2, 3 6, 4 0, 4 4, 7 0, 1 0 4 a, 1 0 4 b, 1 7 2, 1 7 4 : 基板
- 3 4 : 第 1 偏向素子アレイ
- 3 8 : 第 2 偏向素子アレイ
- 4 2 : 第 3 偏向素子アレイ
- 4 6 : 第 4 偏向素子アレイ
- 4 8, 8 0 a, 8 0 b, 8 0 c : レンズ
- 5 0 : 微動台
- 5 2, 5 4, 5 6, 5 8, 6 2, 6 4, 6 6, 6 8, 7 4, 7 6, 1 3 0 a,
1 3 0 b, 1 4 0 a, 1 4 0 b : アクチュエータ
- 5 0 a : 光透過孔
- 6 0 : スライダ
- 3 2 a, 3 6 a, 4 0 a, 4 4 a, 7 0 a : 開口
- 7 2 a, 7 2 b, 1 2 8, 1 3 8, 1 2 8' : 可動レンズ
- 8 2 b, 8 2 c, 1 5 6 : 焦点
- 8 4 : 等価レンズの中心
- 8 6 : 中心線
- 8 8, 9 2, 9 2' : 位置

90, 94, 98 : 線

80a', 80b', 80a'' : 移動後のレンズ

84' : 移動後の中心

96 : 出射光

100, 124, 124', 166, 168, 182, 184 : 可動ミラー

102 : ヒンジ

106a, 106b : 電極

118 : ミラー

120, 122, 158, 176, 178 : コリメータレンズ

126, 126', 134, 136, 136' : 光束

132a, 132b, 142a, 142b : 梁

146, 152, 162 : 光学系

144a : 端面

148 : コア

150 : クラッド

154a : 出射面

164 : $m^2 \times 1$ カプラ

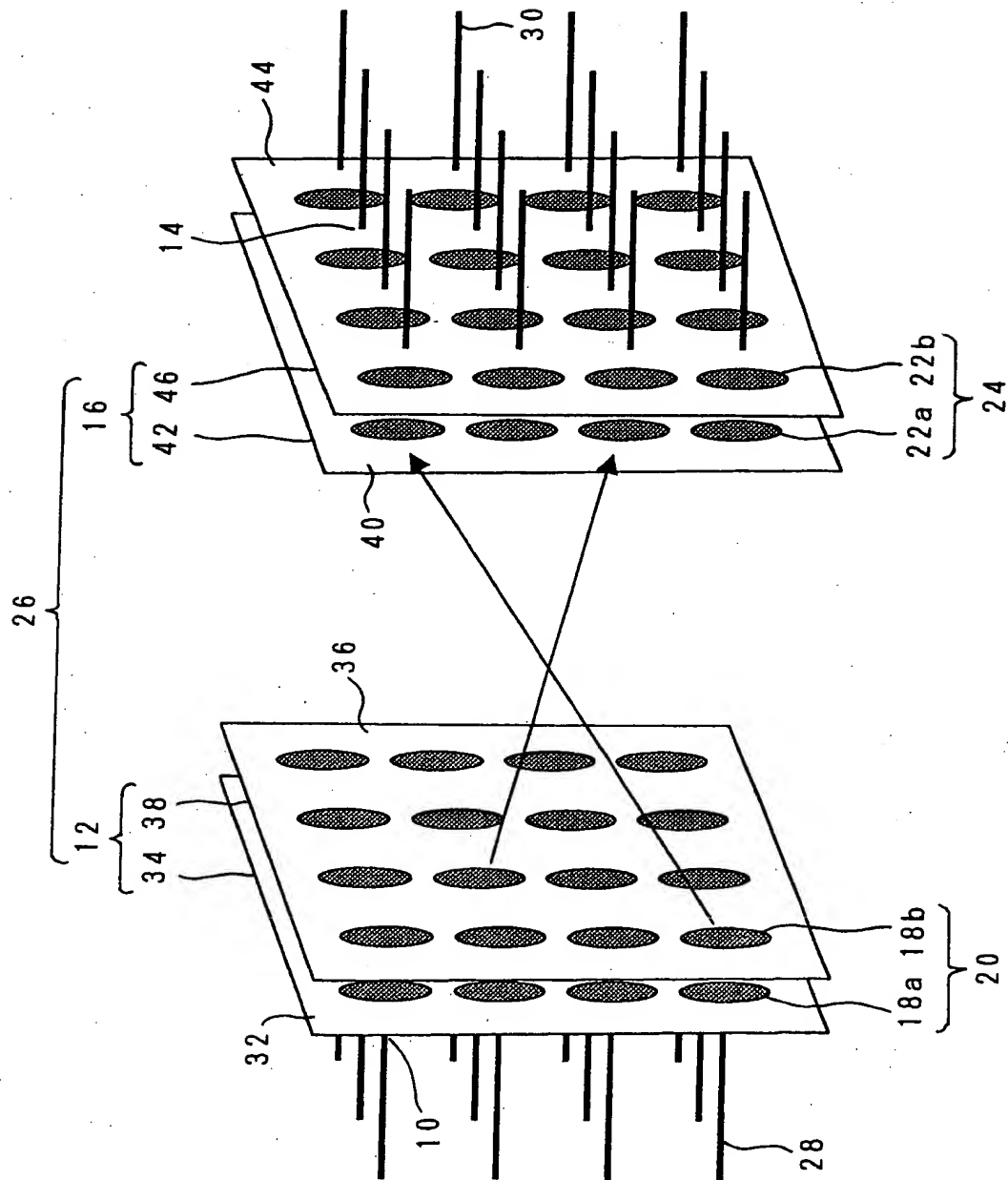
166 : 小レンズ

170, 180, 190 : 光学素子

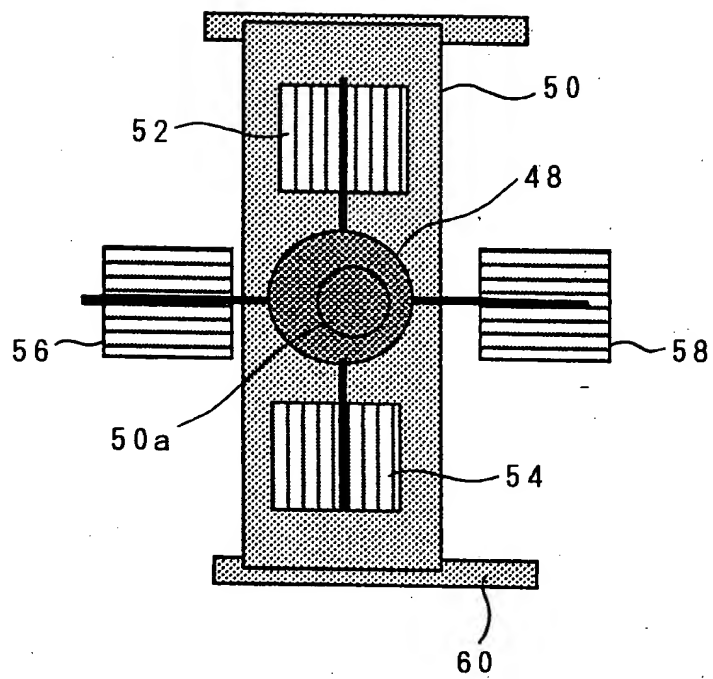
186, 188a, 188b : 光路

【書類名】 図面

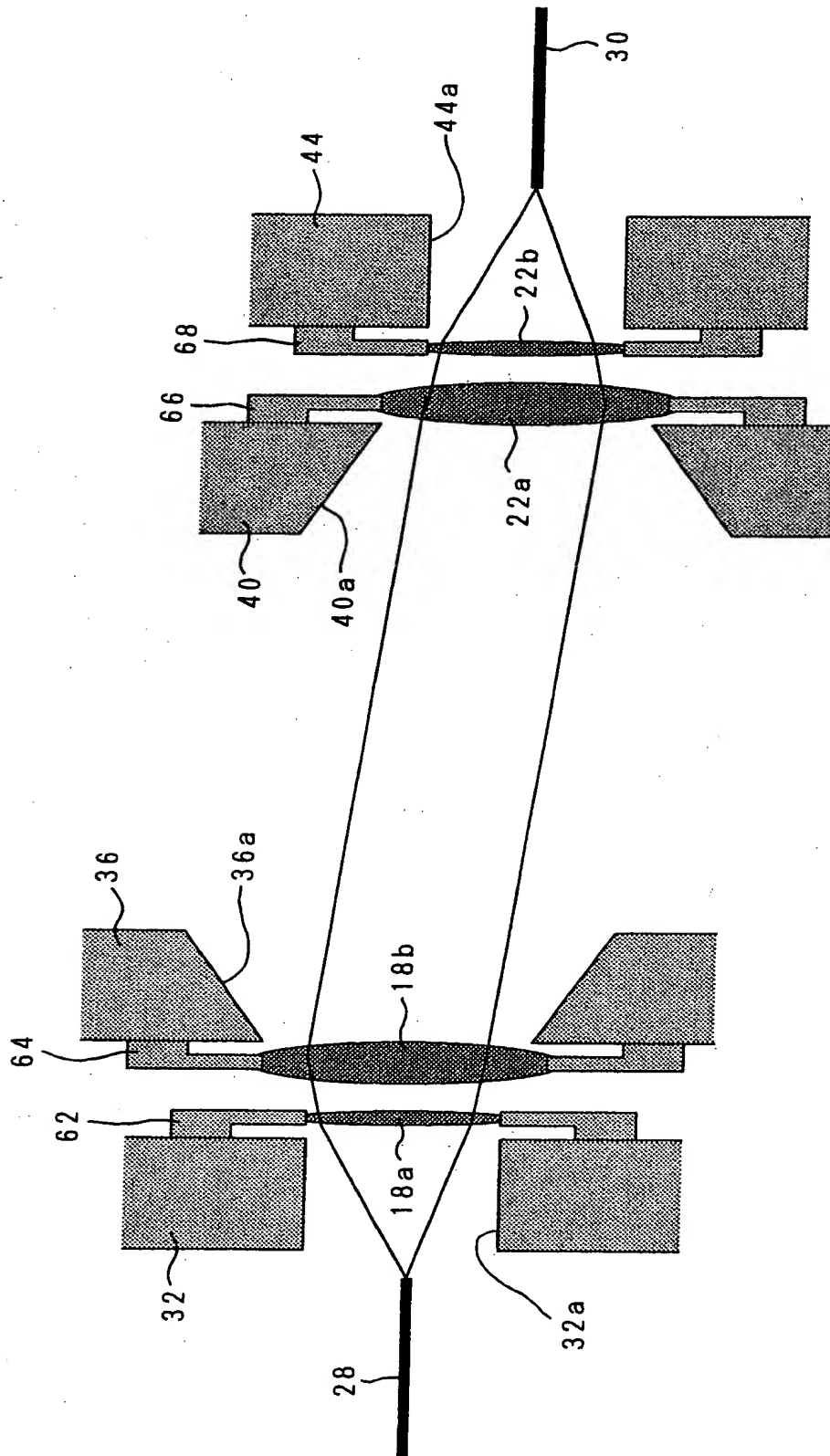
【図 1】



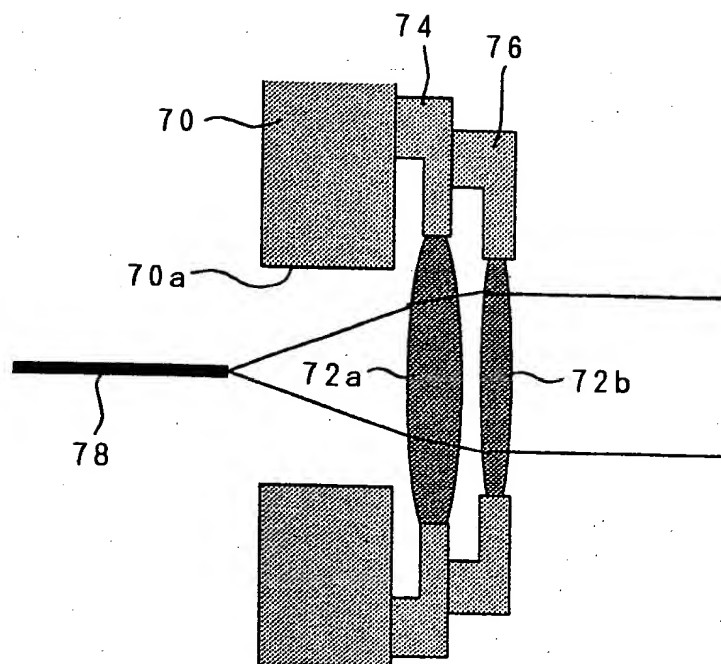
【図 2】



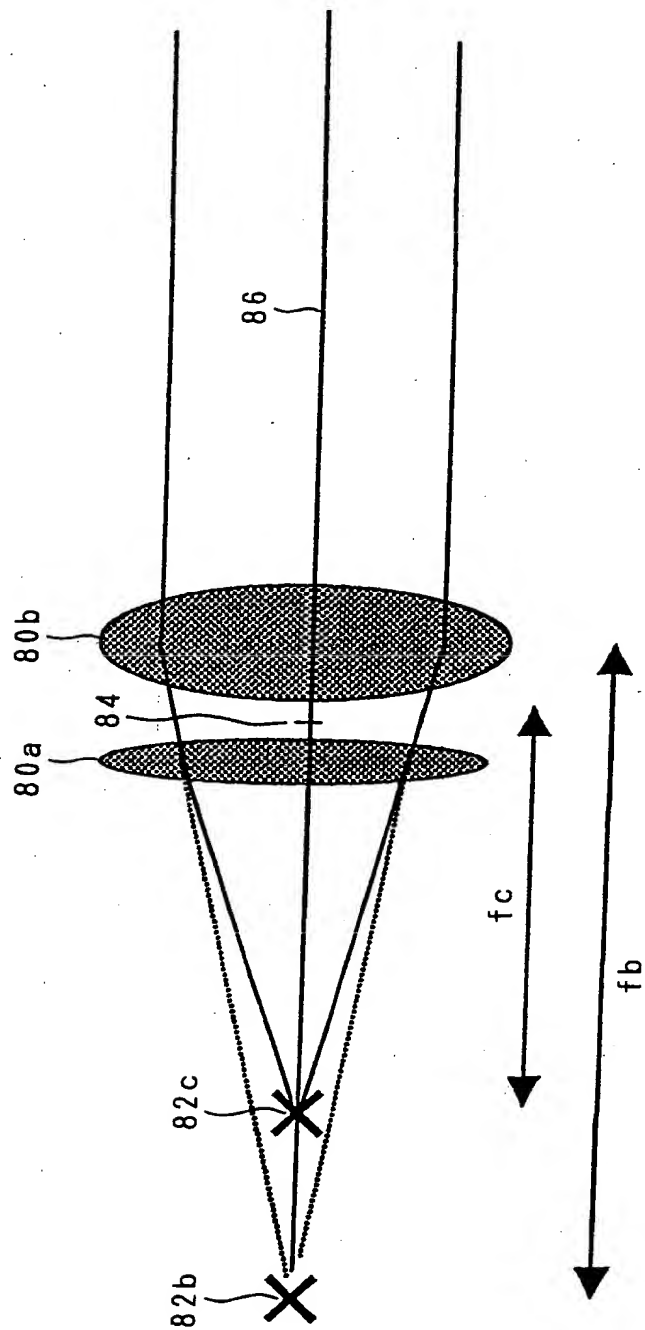
【図 3】



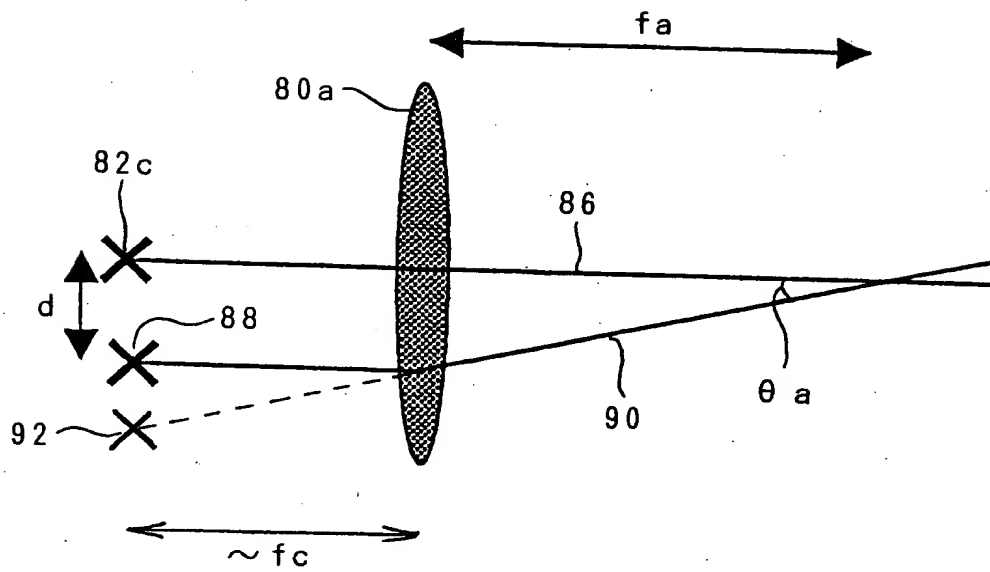
【図4】



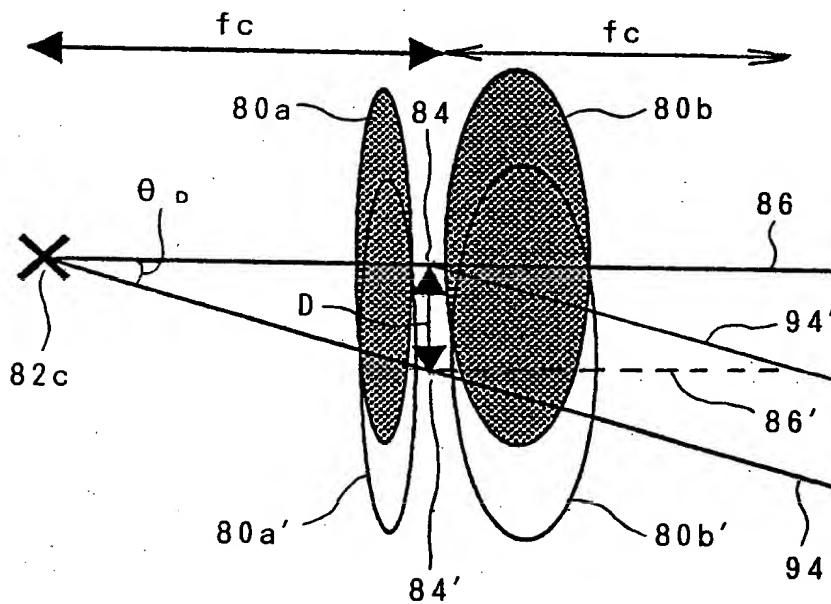
【図 5】



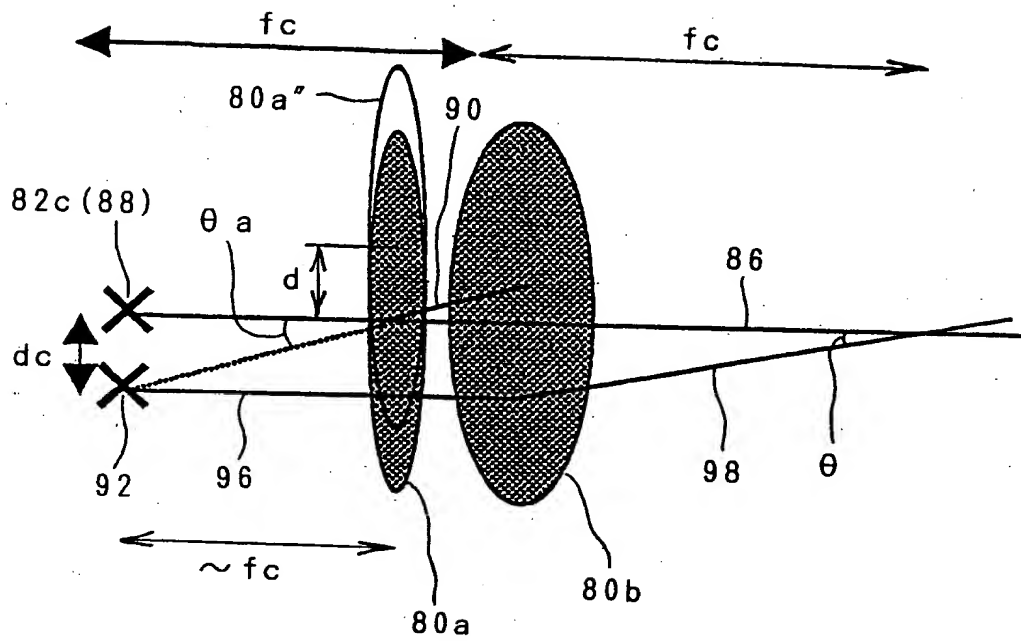
【图 6】



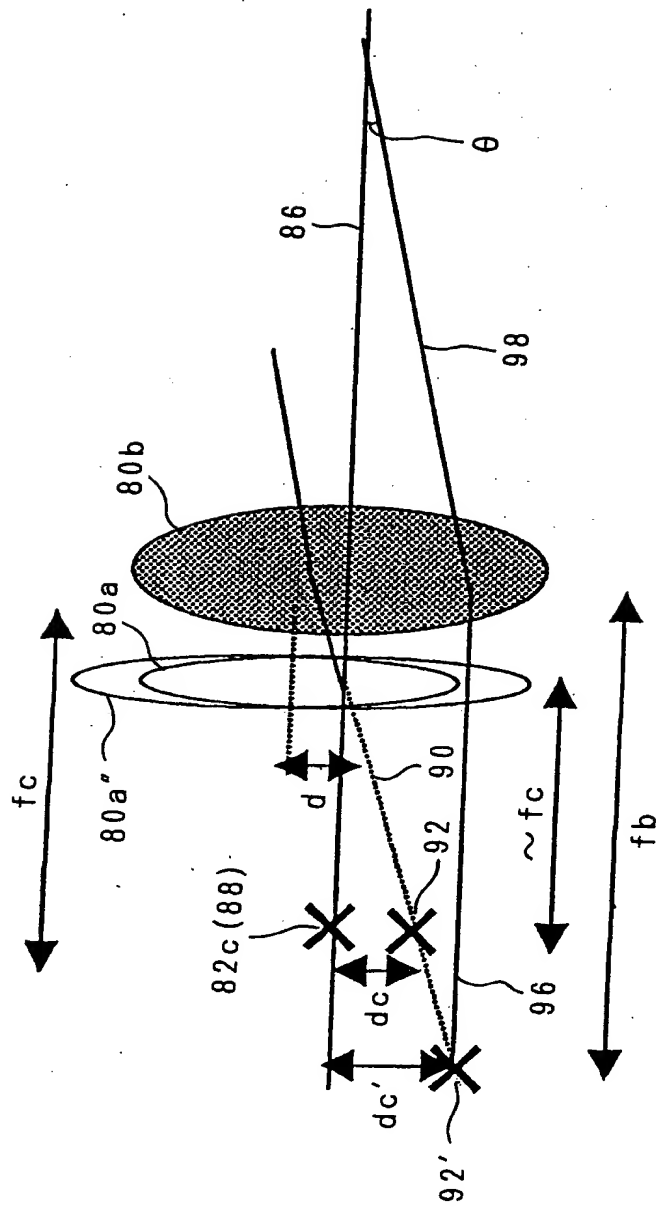
【図 7】



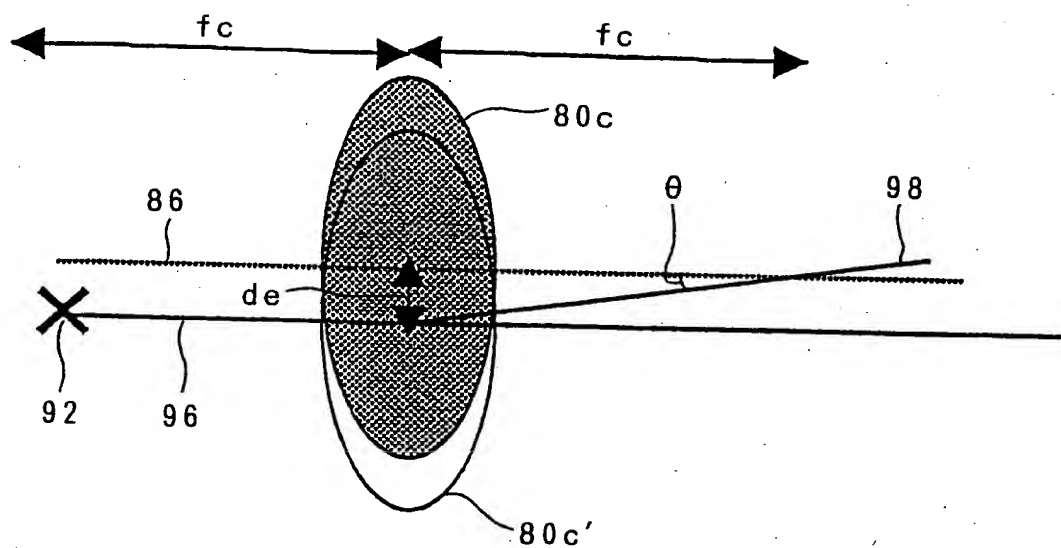
【図 8】



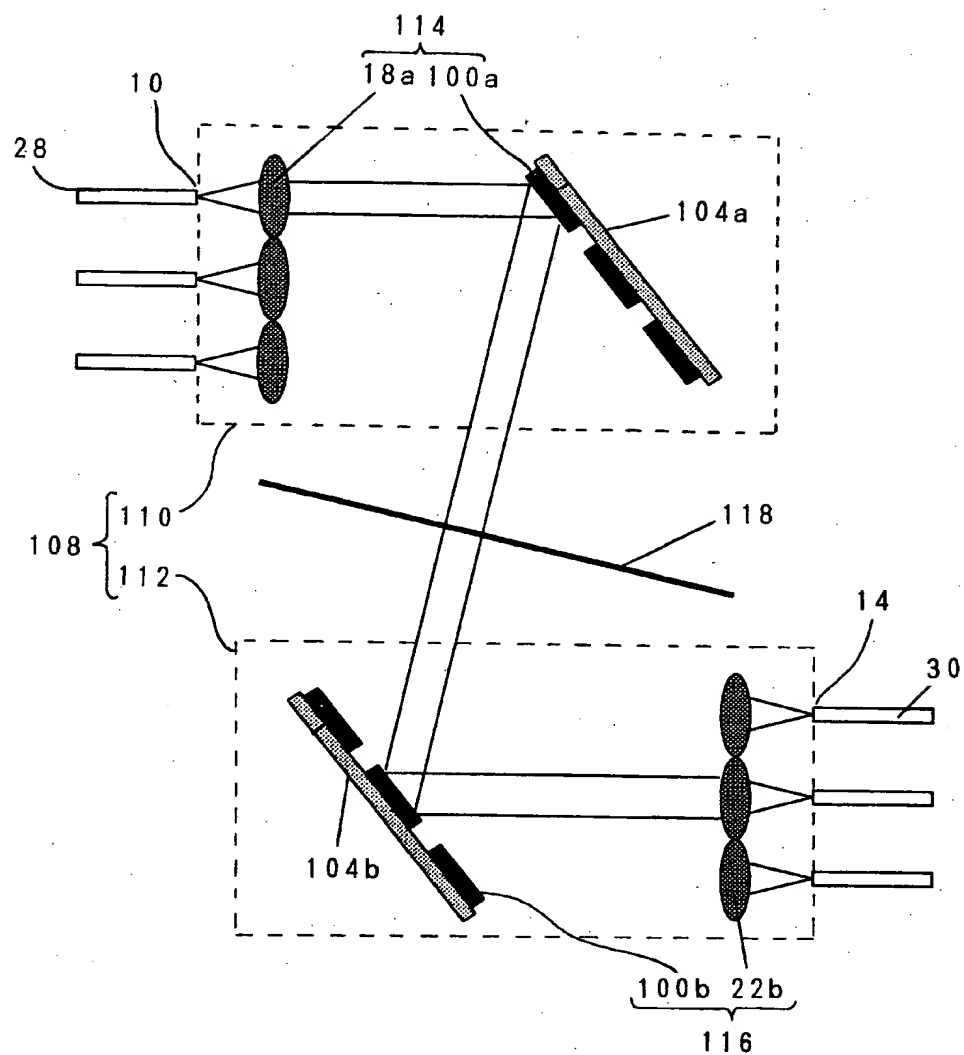
【図9】



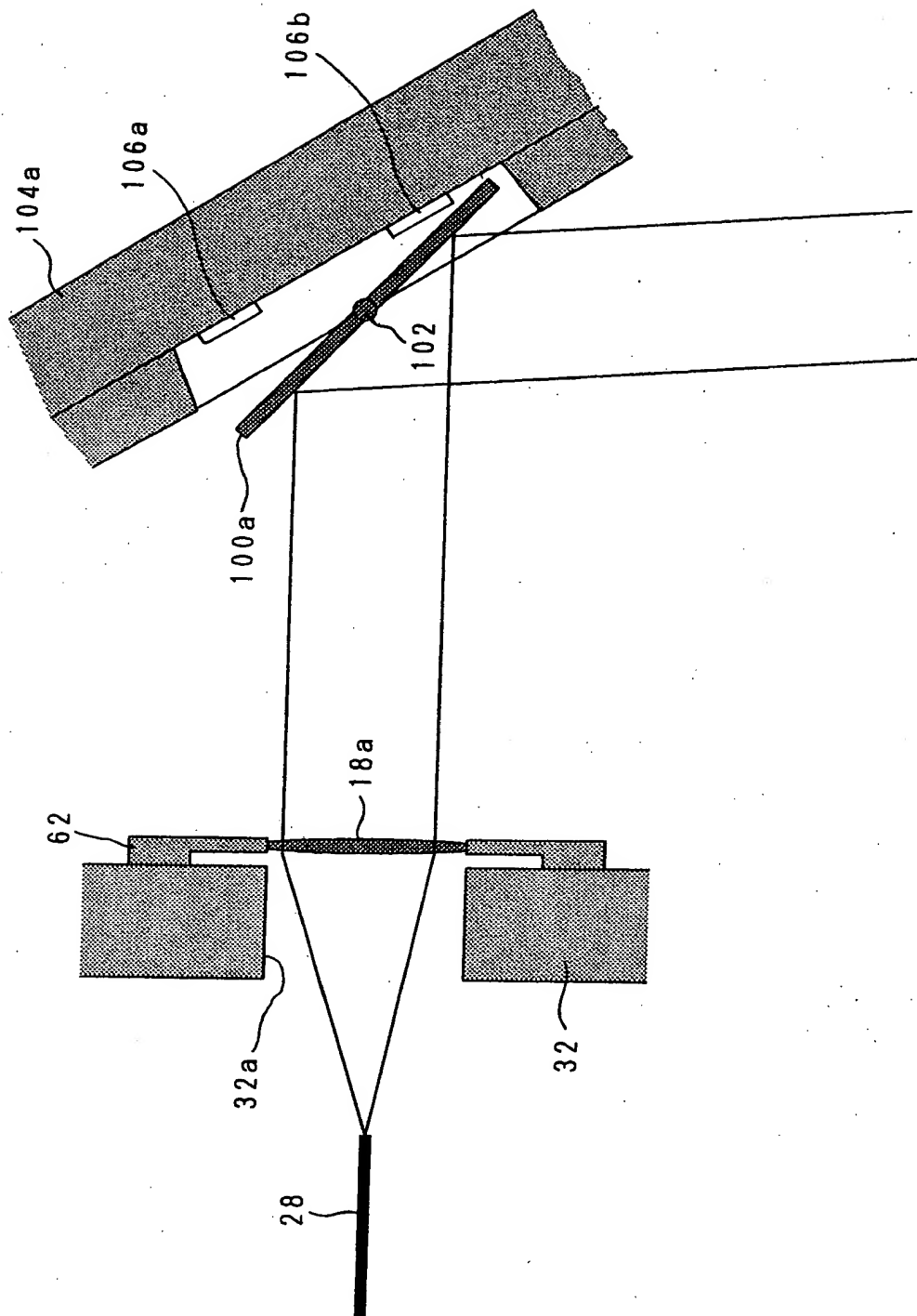
【図10】



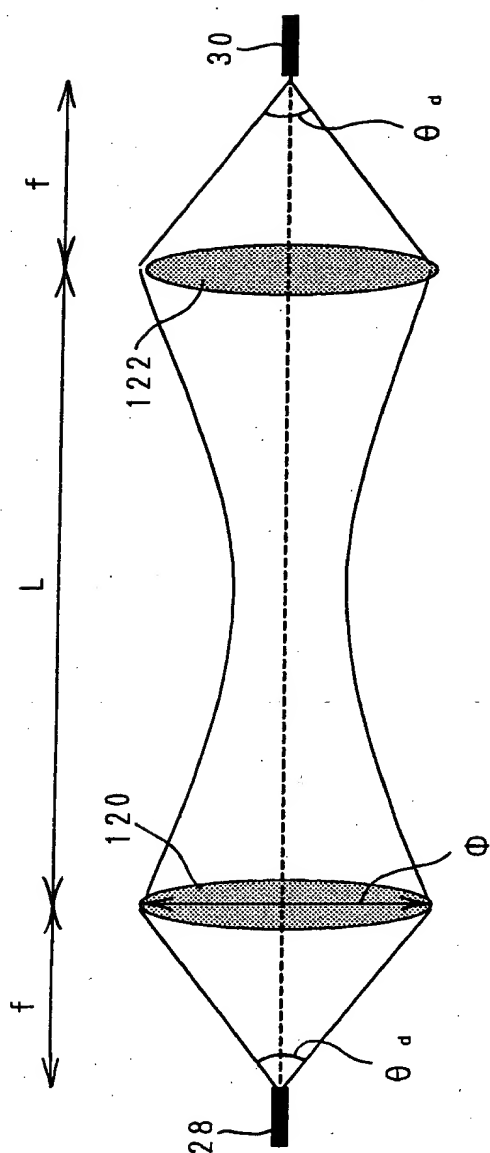
【図 11】



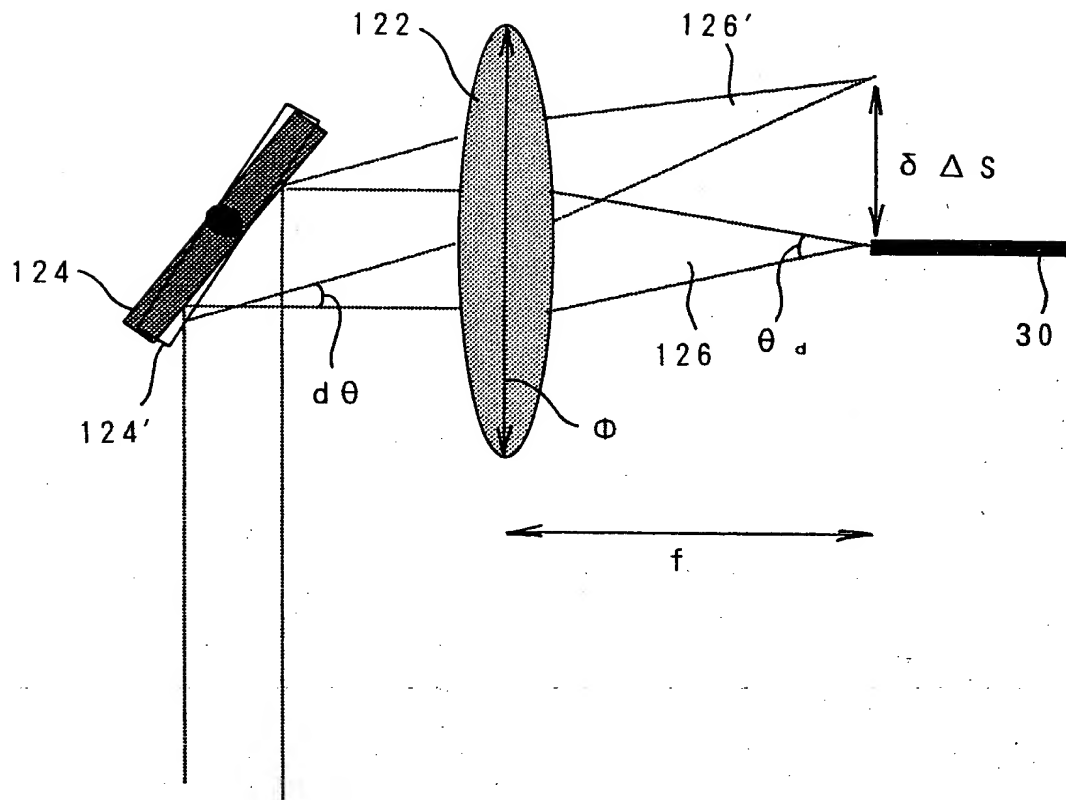
【図 12】



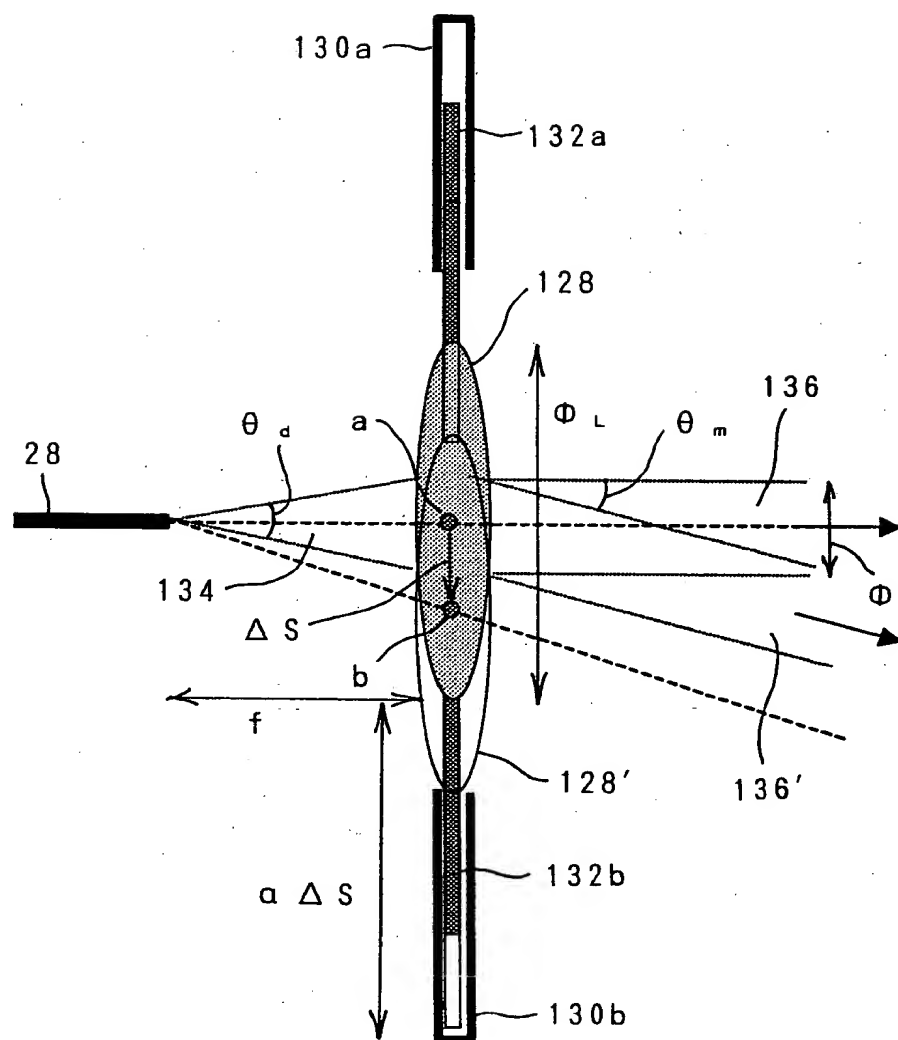
【図 13】



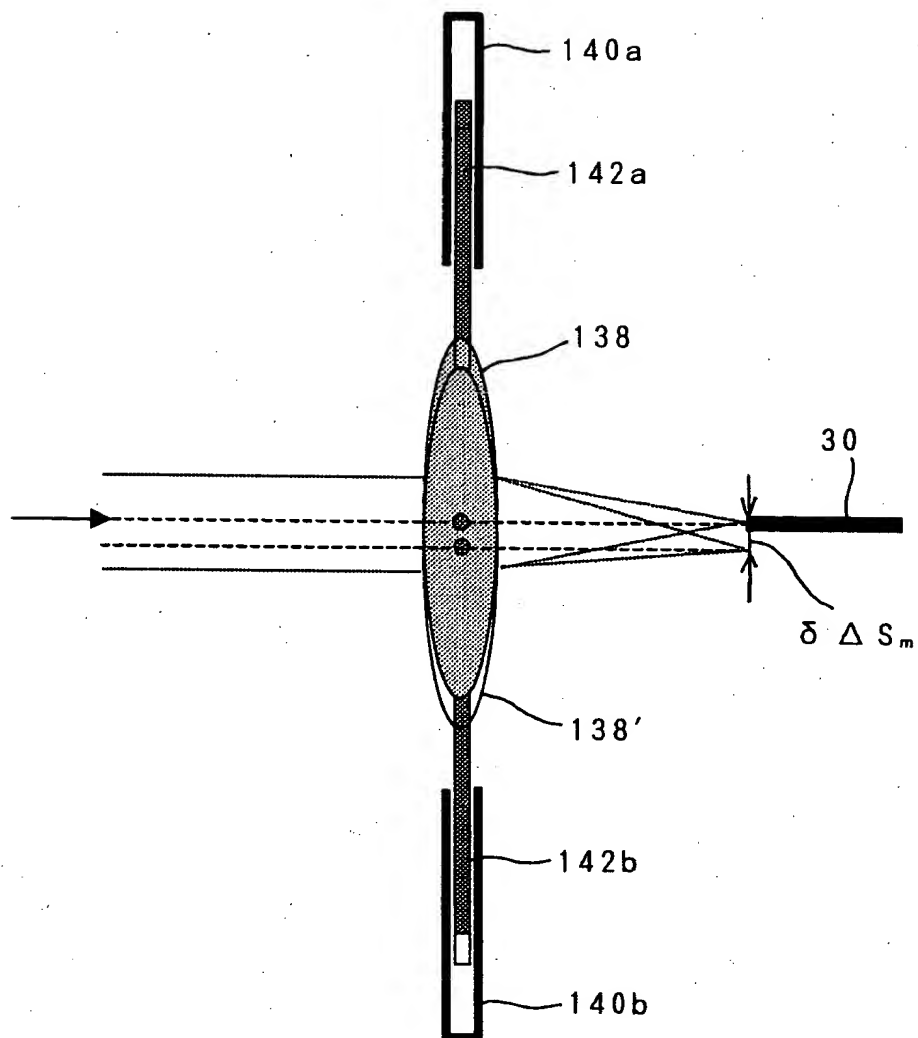
【図 1 4】



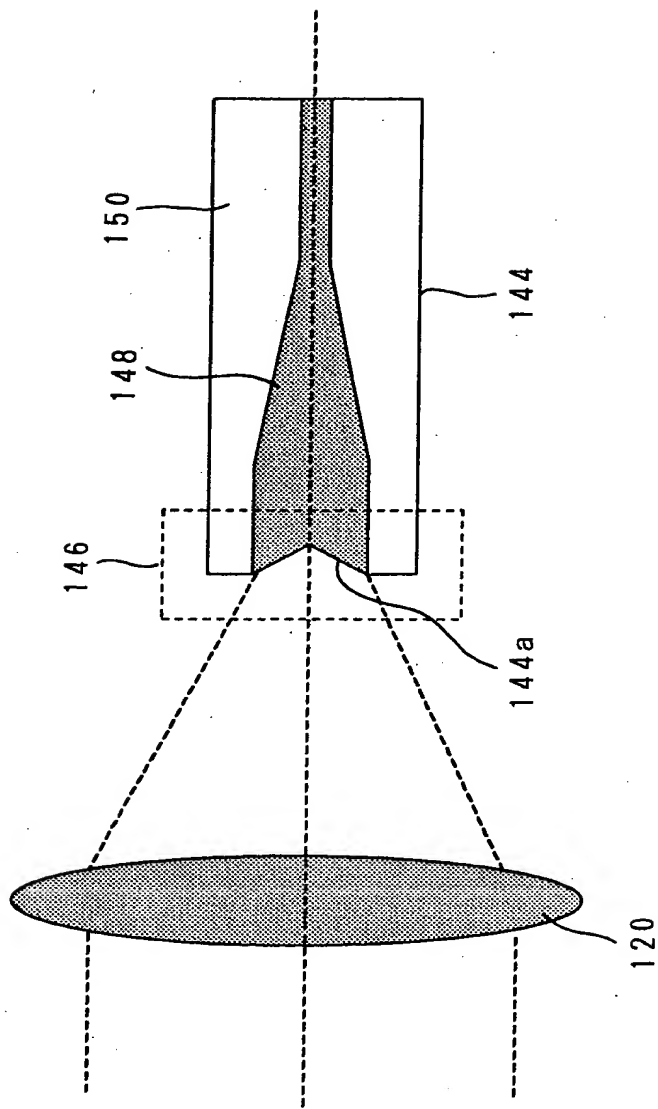
【図 15】



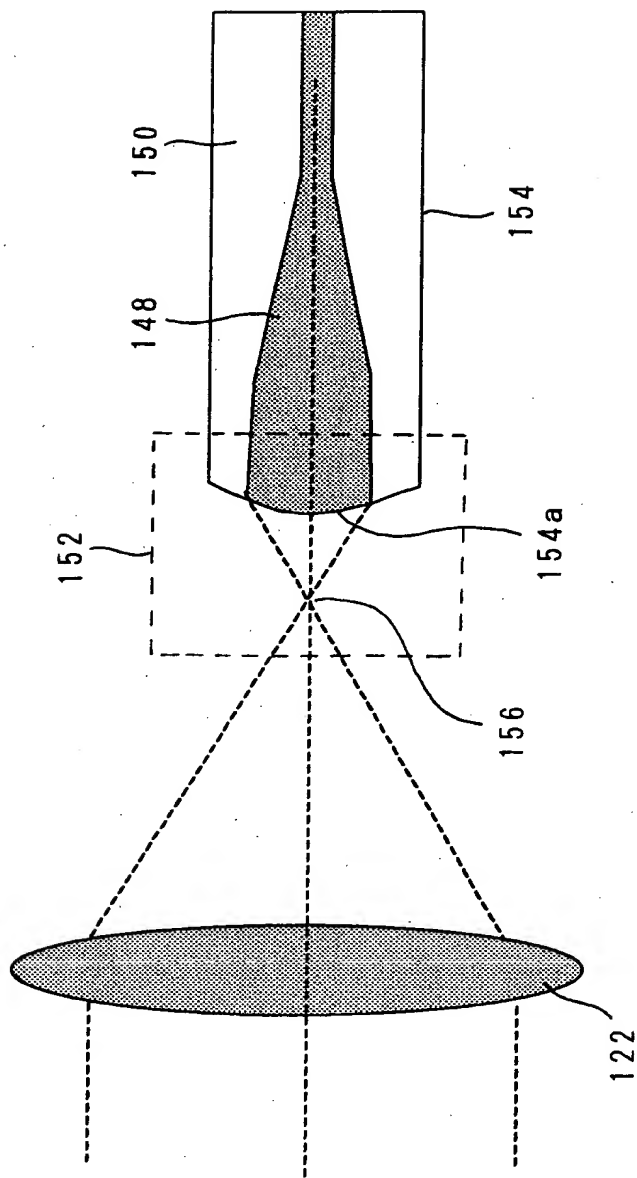
【図16】



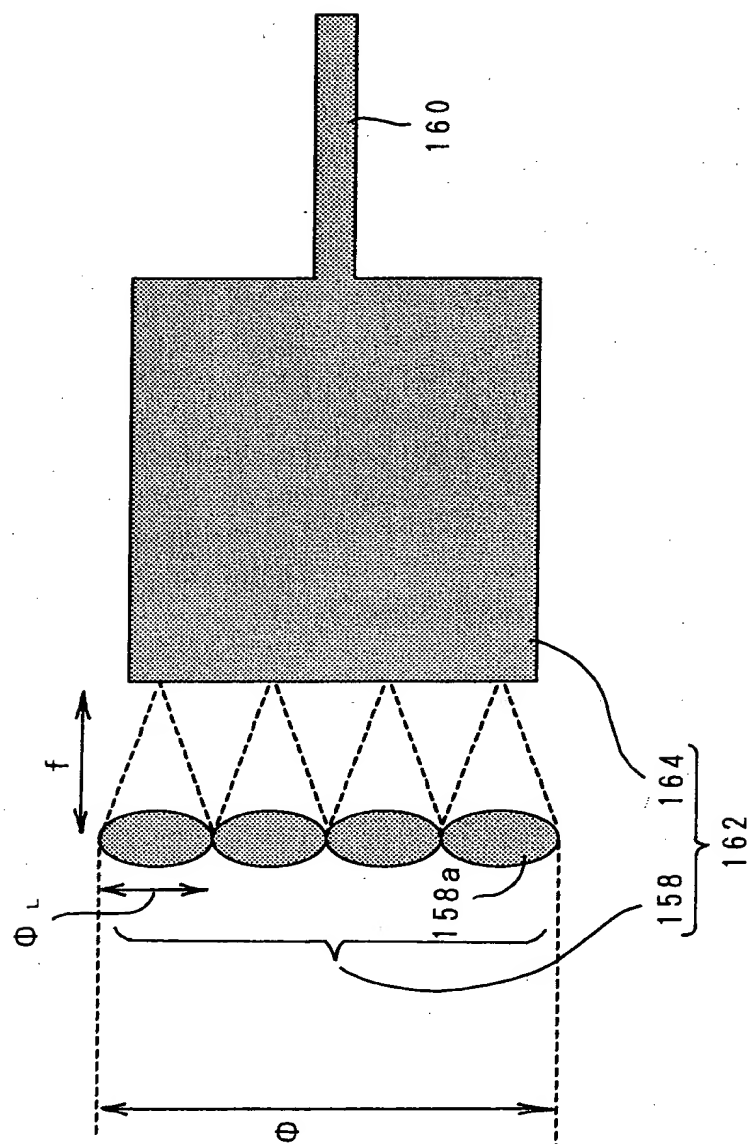
【図17】



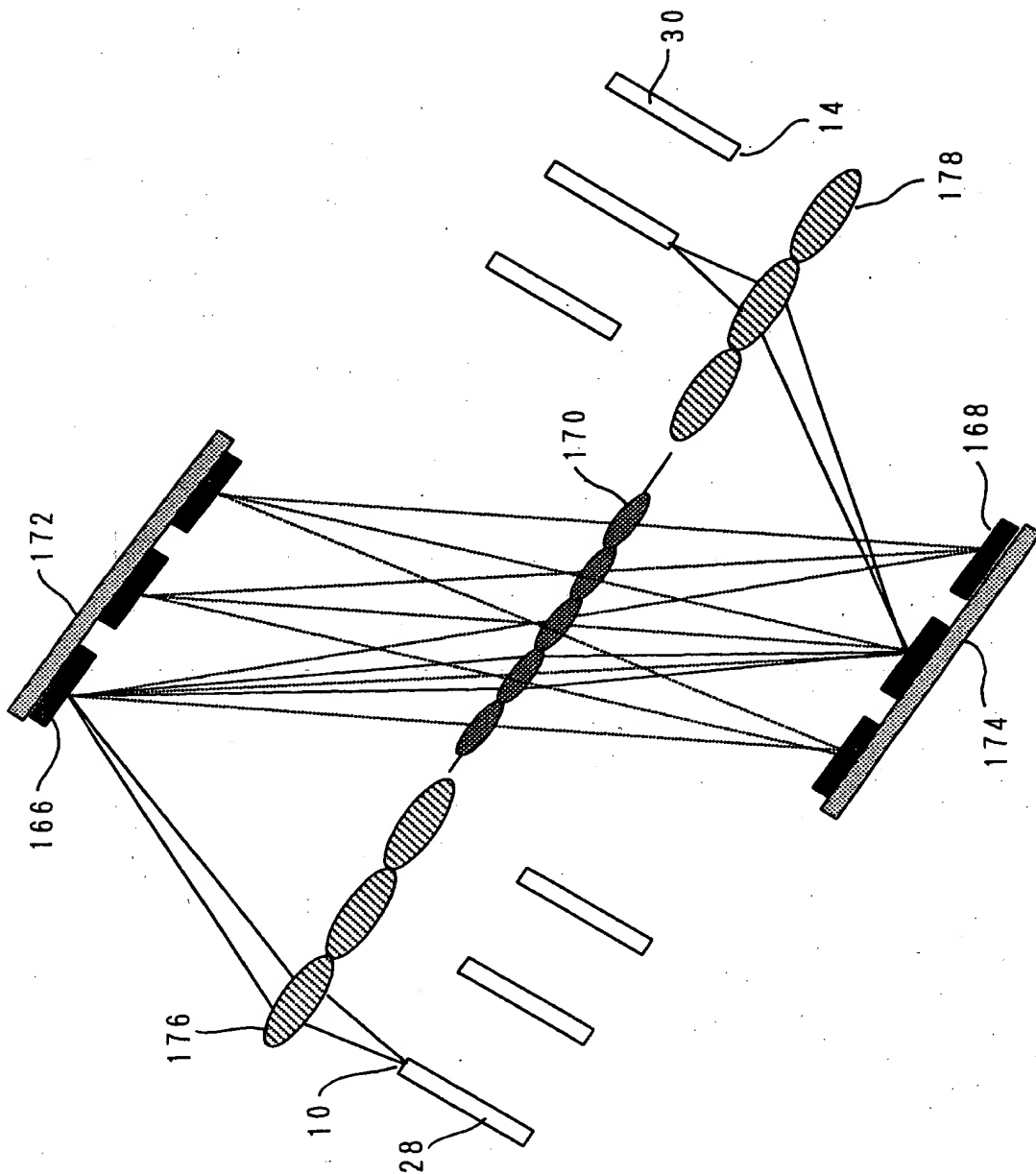
【図 1 8】



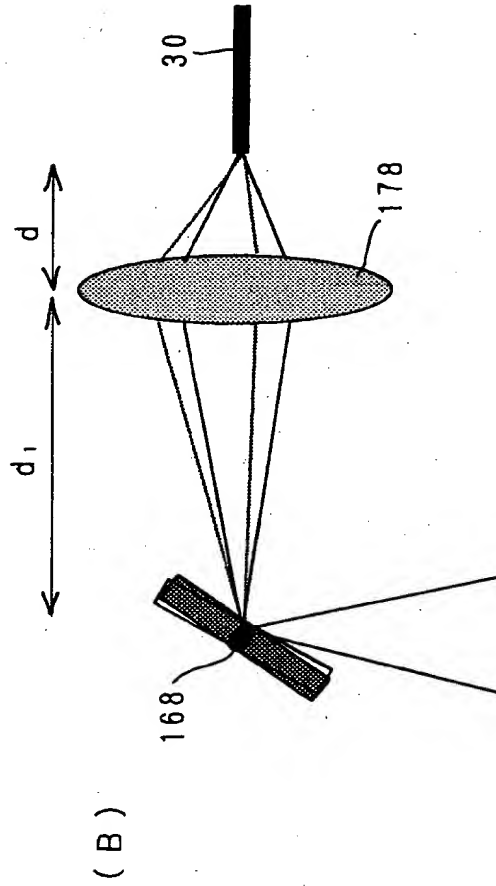
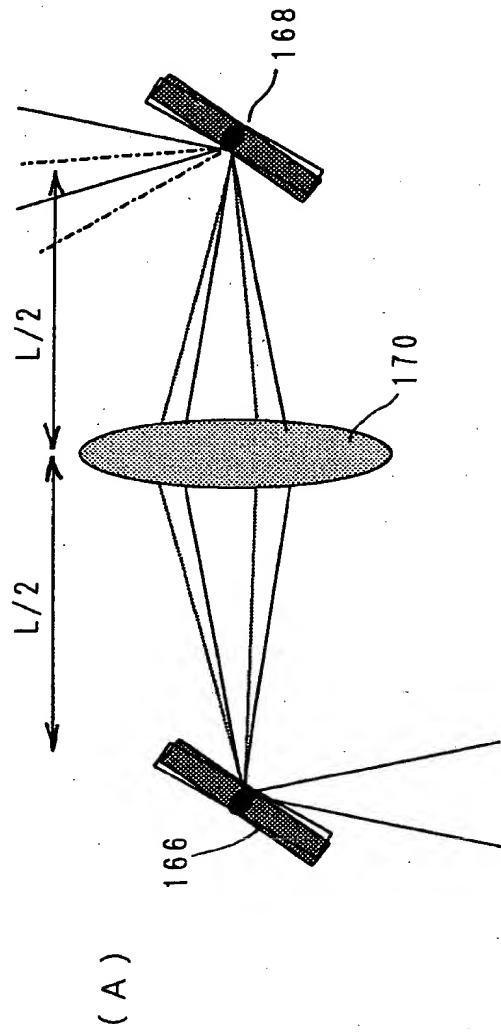
【図 1 9】



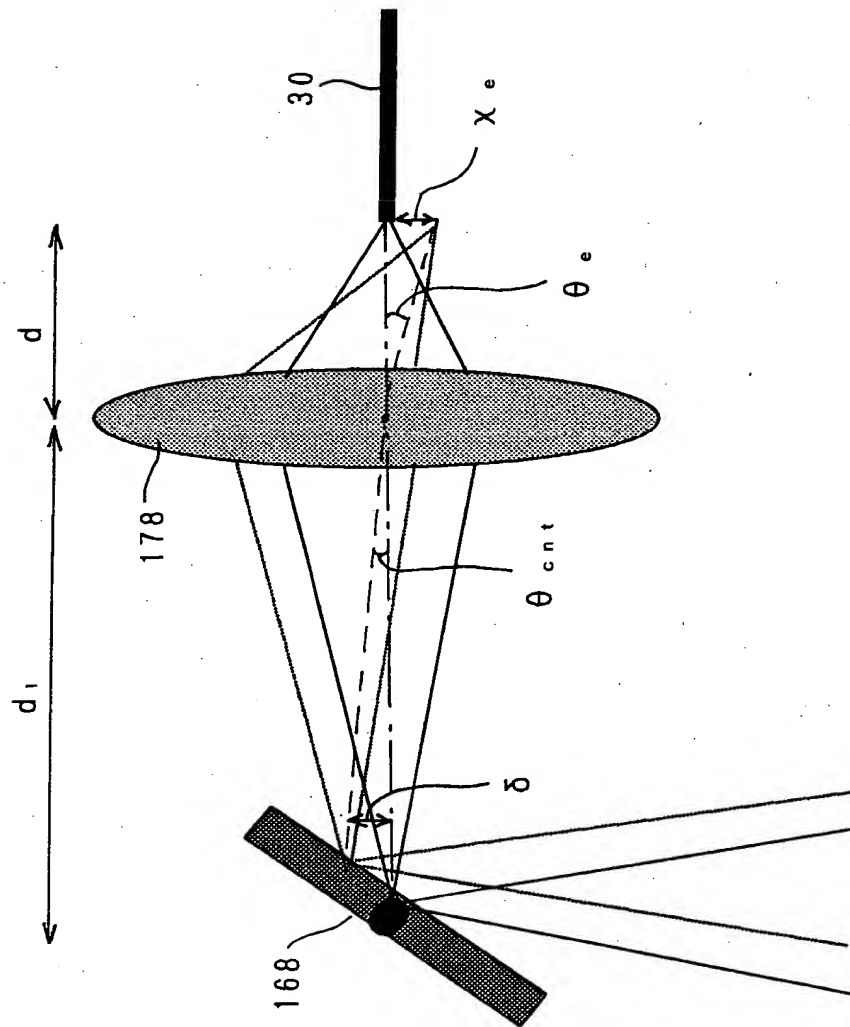
【図 20】



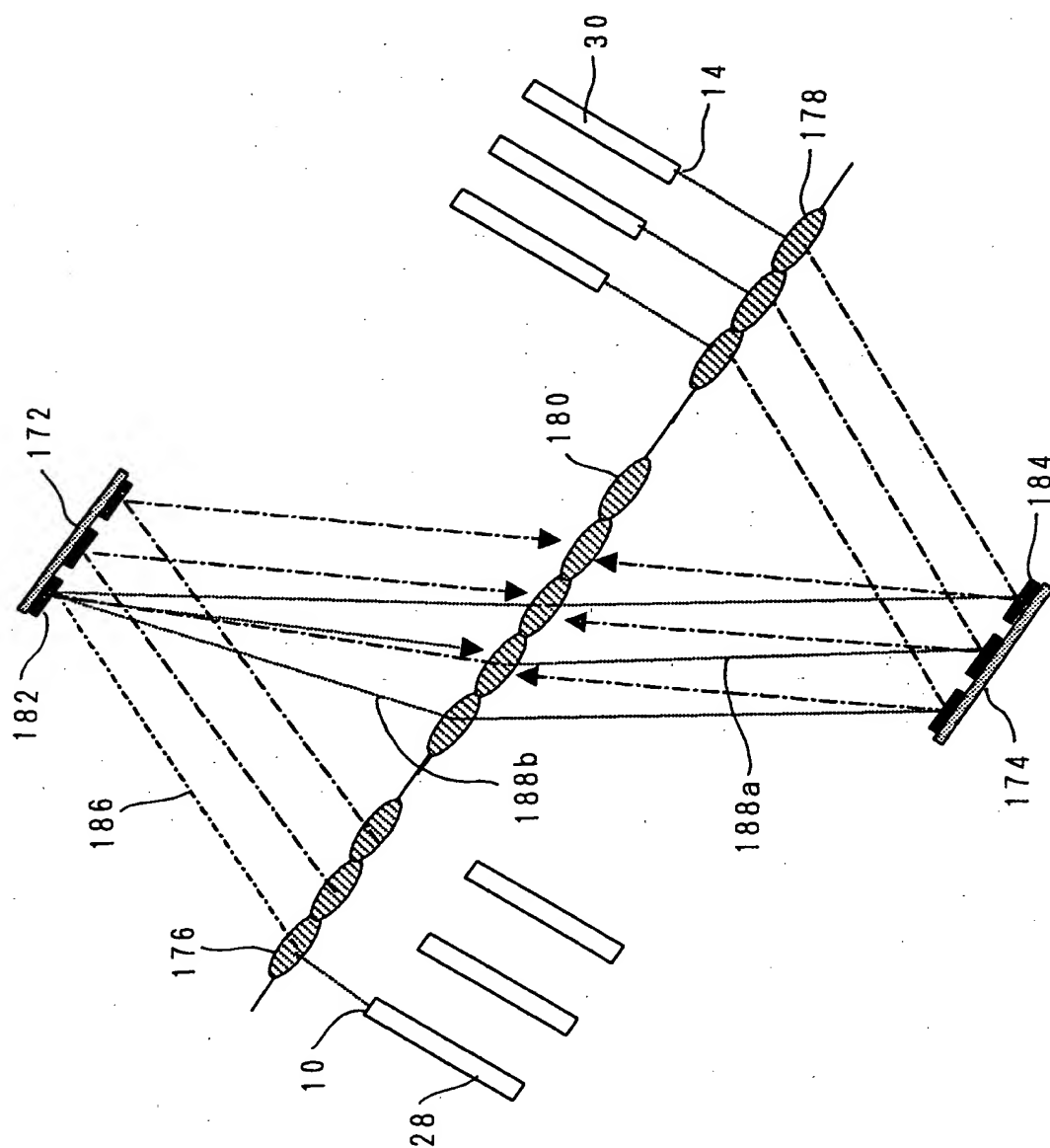
【 図 2 1 】



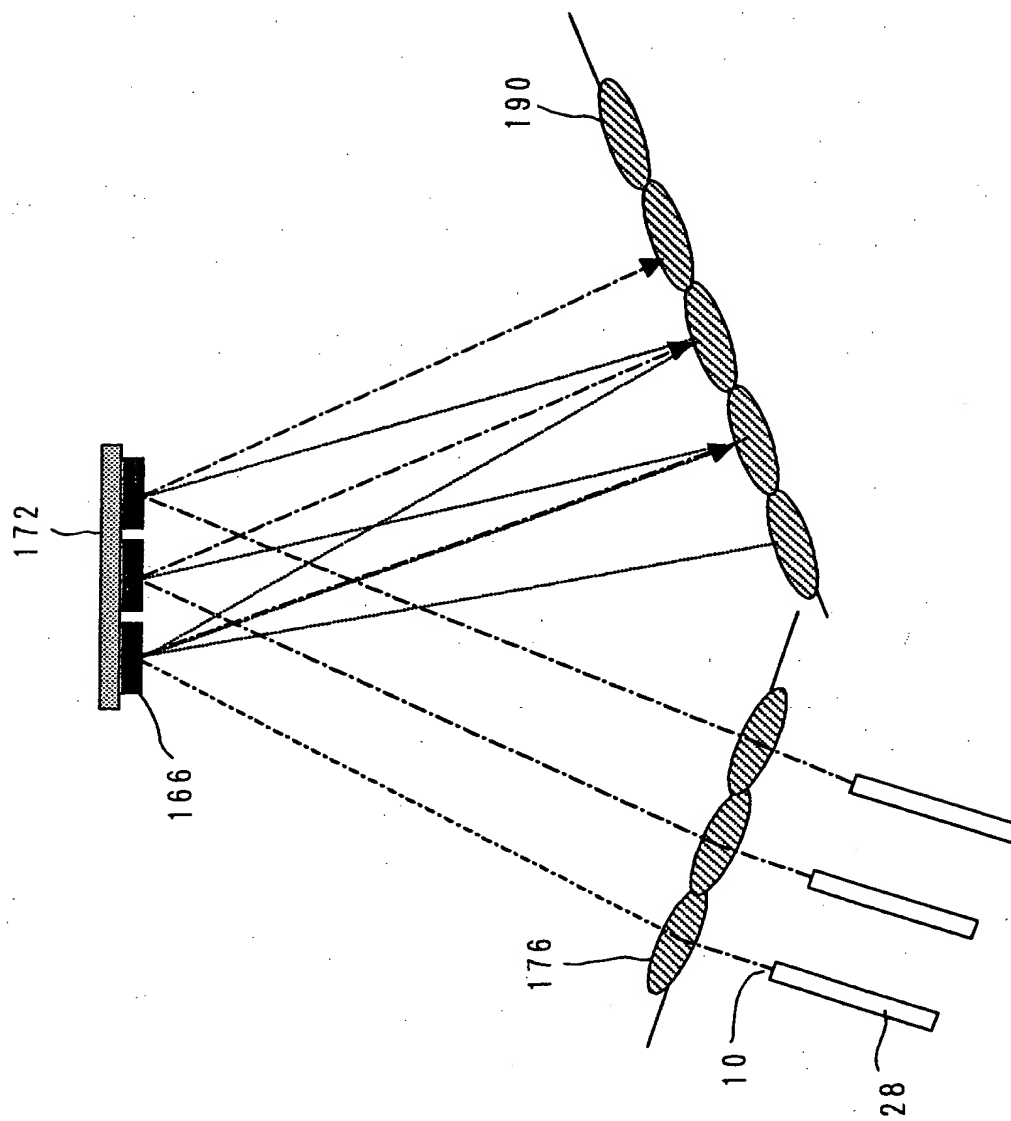
【図 22】



【図 23】



【図 24】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 空間を伝搬する光ビームの偏向角度の設定を、良好な精度で行う。

【解決手段】 光スイッチ 2 6 は、複数個の光入力ポート 1 0 を有する入力側スイッチ要素 1 2 と、複数個の光出力ポート 1 4 を有する出力側スイッチ要素 1 6 とを備える。入力側スイッチ要素は、光入力ポートの各々に、2 個の光偏向素子 1 8 a および 1 8 b からなる入力側光偏向素子群 2 0 を備える。これら光偏向素子は、光入力ポートに入射される光信号の入射方向に沿って配置される。出力側スイッチ要素は、光出力ポートの各々に、2 個の光偏向素子 2 2 a および 2 2 b からなる出力側光偏向素子群 2 4 を備える。これら光偏向素子は、光出力ポートから出射される光信号の出射方向に沿って配置されている。

【選択図】 図 1

特 2000-348577

認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2000-348577
受付番号	50001475940
書類名	特許願
担当官	第一担当上席 0090
作成日	平成12年11月16日

<認定情報・付加情報>

【提出日】	平成12年11月15日
-------	-------------

次頁無

出願人履歴情報

識別番号 [000000295]

1. 変更年月日 1990年 8月22日
[変更理由] 新規登録
住 所 東京都港区虎ノ門1丁目7番12号
氏 名 沖電気工業株式会社